ROUTE

ALIZÉ-LCPC

Manuel d'utilisation

du logiciel ALIZÉ-LCPC

version 1.3

LCPC

© LCPC - 2010

www.itech-soft.com

Distributeur officiel :

itech : 12-16 rue de Vincennes - 93100 Montreuil
T. +33(0)1 48 70 47 41 • F. +33(0)1 48 59 12 24
contact@itech-soft.com

itech

Sommaire

1. Introduction à la notice d'utilisation 3

1.1- Objectifs et cadre général d'utilisation d'Alizé-Lcpc Routes 3
1.2- Documents de référence 3
1.3- Architecture générale d'Alizé-Lcpc 4
1.4- Configuration informatique requise, protection contre le piratage 4

2. Installation d'Alizé-Lcpc Routes 5

2.1- Installation automatique par Autorun 5
2.2- Installation manuelle 5
2.3- Commentaires 5

3. Lancement du programme 7

3.1- Démarrage de l'application 7
3.2- Configuration d'Alizé-Lcpc 7
3.3- Fichiers générés par l'application 9
3.4- Naviguer entre les fenêtres Structure mécanique, Charge spéciale et Gel 9
3.5- Nota important : case à cliquer pour les menus déroulant 9

4. Alizé-mécanique : données concernant la structure de chaussée 11

4.1- Alizé-mécanique : Principe de modélisation de la structure de chaussée 11
4.2- Créer et modifier les données Structures 11
4.3- Quelques précisions et conseils pour la saisie des données 13
4.4- Consultation et importation des fiches du Catalogue Lcpc-Setra 1998 16
4.5- Enregistrement et lecture des fichiers de données 16

5. Alizé-mécanique : données concernant le chargement du modèle 17

5.1- Définition de la charge de référence 17
5.2- Définition des charges spéciales 18
5.3- Charges spéciales pseudo-rectangulaires 21

6. Alizé-mécanique : lancement des calculs 23

6.1- Les deux modes de calcul mécanique 23
6.2- Commandes pour le lancement des calculs mécaniques 23
6.3- Lancement d'un calcul en mode Grille-séca 24

7. Alizé-mécanique : résultats des calculs 27

7.1- Résultats des calculs de type standard 27
7.2- Résultats des calculs de type Grille-séca 31
7.3- Résultats des calculs de type Grille-séca – Profils transversaux de dommage 34

8. Alizé-mécanique : calculs des valeurs admissibles 39

8.1- Utilisation de la feuille Calcul des valeurs admissibles 39
8.2- Précisions concernant la bibliothèque de matériaux Alizé-mécanique 41

9. Alizé-gel : Préparation des données pour les calculs 43

9.1- Description du problème traité 43
9.2- Quelques précisions et conseils pour la saisie des données 46
9.3- Enregistrement et lecture des fichiers de données 47
9.4- Définition des conditions initiales et des conditions aux limites 48
9.5- Calcul de la quantité Qpf de gel admissible par la plate-forme 50
9.6- Précisions concernant la bibliothèque de matériaux Alizé-gel 51

10. Alizé-gel : Lancement des calculs et sortie des résultats 53

10.1- Commandes pour le lancement des calculs Alizé-gel 53
10.2- Résultats des calculs Alizé-gel 54

11. Alizé-rétrocalcul : Données, lancement des calculs et sortie des résultats 63

11.1- Description du problème traité 63
11.2- Préparation des données du module Alizé-rétrocalcul 64
11.2- Alizé-rétrocalcul : résultats des calculs 68

Annexe A1 : Principes du dimensionnement mécanique des chaussées 71

A1.1- Cadre général du dimensionnement rationnel des chaussées 71
A1.2- Démarche générale du dimensionnement rationnel des chaussées 71
A1.3- Le modèle de calcul mécanique 74

Annexe A2 : Principes de la vérification au gel-dégel des chaussées 77

A2.1- Généralités 77
A2.2- Comportement des sols au gel et au dégel 77
A2.3- Place de la vérification au gel/dégel dans l'étude de dimensionnement 78
A2.4- Quelques définitions et notations 79
A2.5- Démarche générale de la vérification au gel-dégel 79

1 Introduction à la notice d'utilisation

1.1- Objectifs et cadre général d'utilisation d'Alizé-Lcpc Routes

La notice d'utilisation d'Alizé-Lcpc Routes présente les possibilités et les fonctionnalités du logiciel, et décrit ses modalités de mise en œuvre afin d'en permettre une prise en main rapide.

Dans la suite de cette notice, le logiciel Alizé-Lcpc Routes sera également désigné par les termes Alizé-Lcpc et Alizé. Il est admis que l'utilisateur du programme est formé à l'utilisation du système d'exploitation Windows de Microsoft Corporation, et qu'il en maîtrise les différentes interfaces et périphériques associés.

Alizé-Lcpc Routes met en œuvre la méthode rationnelle de dimensionnement des structures de chaussées développée par le Lcpc et le Sétra. Cette méthode constitue la méthode réglementaire de dimensionnement des chaussées du réseau routier national français, et elle a également été adoptée par de nombreuses autres maîtrises d'ouvrage. Les bases de la démarche du dimensionnement rationnel sont exposées en annexe A1 (dimensionnement mécanique des chaussées) et A2 (vérification au gel-dégel des chaussées).

Dans sa version intégrale, le logiciel comprend trois modules principaux :

- Le module de calcul mécanique s'appuyant sur la détermination des sollicitations créées par les charges dans les matériaux de chaussées, désigné module Alizé-mécanique,
- Le module de vérification au gel-dégel des structures de chaussées, désigné module Alizé-gel,
- Le module de calcul inverse des modules d'élasticité des différentes couches, à partir des bassins de déflexion mesurés sur la chaussée en service, désigné module Alizé-rétrocalcul.

En fonction de la demande de l'utilisateur, Alizé-Lcpc est distribué dans sa version intégrale comportant les trois modules Alizé-mécanique, Alizé-gel et Alizé-rétrocalcul, ou dans l'une des trois versions réduites suivantes : Alizé-mécanique seul, ou Alizé-gel seul, ou Alizé-mécanique et Alizé-rétrocalcul. La présente notice d'utilisation est commune à ces trois versions possibles de distribution. Les différentes parties qui la composent recouvrent les trois profils de distribution du logiciel :

- Les utilisateurs de la version intégrale sont concernés par la totalité de la notice (11 parties) et ses 2 annexes ;
- Les utilisateurs de la version Alizé-mécanique sont particulièrement concernés par les parties 1 à 8 et par l'annexe A1 ;
- Les utilisateurs de la version Alizé-gel sont particulièrement concernés par les parties 1 à 3, 9 et 10, et par l'annexe A2.
- Les utilisateurs de la version Alizé-mécanique et Alizé-rétrocalcul sont particulièrement concernés par les parties 1 à 8 et 11 et par l'annexe A1.

1.2- Documents de référence

Les documents de référence à consulter pour une présentation approfondie de la méthode de dimensionnement des structures de chaussées selon la démarche rationnelle Lcpc-Sétra sont :

- Le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées, Lcpc-Sétra 1994, qui présente dans le détail les principes du dimensionnement rationnel des chaussées ;
- Le Catalogue des structures types de chaussées neuves, Lcpc-Sétra 1998 ;
- Le guide technique Spécifications des variantes, Sétra 2003.

Ces trois documents décrivent les modalités d'application du dimensionnement rationnel aux structures de chaussées du réseau routier national français.

Le moteur de calcul du module Alizé-gel est issu du logiciel Gel1d du Lcpc (application sous MS-Dos non maintenue depuis 2003), dont il reprend l'algorithme de résolution. Il permet la simulation numérique du champ de températures dans un massif unidimensionnel multicouche en régime de changement de phase eau - glace. Pour plus d'informations sur cet algorithme, on se reportera au document «Gel1d, Modélisation monodimensionnelle de la congélation des structures de chaussées multicouches, manuel d'utilisation, 6ème édition, Lcpc 1999». Outre ce noyau de calcul, le module Alizé-gel s'articule autour d'une interface spécifique, non incluse dans l'application initiale sous Ms-Dos, facilitant la saisie des données nécessaires aux calculs et comportant divers écrans d'aide pour la mise en œuvre de la méthode de vérification au gel-dégel.

1.3- Architecture générale d'Alizé-Lcpc

L'architecture générale d'Alizé-Lcpc a été conçue pour faciliter autant que faire se peut la mise en œuvre de la méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées Lcpc-Sétra. Cet objectif conduit à articuler le programme autour des fonctionnalités suivantes :

Module Alizé-mécanique :

- définition de la structure de chaussée : épaisseur des couches, paramètres d'élasticité des différents matériaux et conditions d'interface ;
- définition du chargement appliqué à la surface (charge de référence ou autre chargement désigné par chargement spécial) ;
- détermination des sollicitations admissibles par les matériaux en fonction du trafic ;
- réalisation du calcul mécanique à l'aide du moteur de calcul Alizé-mécanique ;
- présentation des résultats du calcul mécanique ;
- assistance et aide pour le choix pratique des hypothèses de calcul et des valeurs numériques à donner aux différents paramètres, en accord avec le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994 et/ou le Catalogue des structures 1998 ;
- gestion d'une bibliothèque Alizé-mécanique. Elle regroupe l'ensemble des matériaux standard dont les caractéristiques pour les calculs mécaniques sont définies par les guides et catalogue Lcpc-Sétra mentionnés plus haut. Cette bibliothèque peut également inclure des matériaux personnels définis par l'utilisateur.

Module Alizé-gel :

- définition de la structure de chaussée : épaisseur des couches, paramètres thermiques des matériaux, niveau de la plate-forme ;
- définition des conditions initiales et des conditions aux limites (conditions de la méthode officielle Lcpc-Sétra ou autres conditions appelées conditions spéciales) ;
- réalisation du calcul thermique à l'aide du moteur de calcul Alizé-gel ;
- détermination de la quantité de gel admissible par la plate-forme ;
- présentation des résultats du calcul thermique ;
- assistance et aide pour le choix pratique des hypothèses de calcul et des valeurs numériques à donner aux différents paramètres, en accord avec le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994 ;
- gestion d'une bibliothèque Alizé-gel. Elle regroupe l'ensemble des matériaux standard dont les caractéristiques pour les vérifications au gel-dégel sont définies par les guides et catalogue Lcpc-Sétra mentionnés plus haut. Cette bibliothèque peut également inclure des matériaux personnels définis par l'utilisateur.

Module Alizé-rétrocalcul :

- définition de la structure de chaussée : épaisseur des couches, modules d'élasticité initiaux et coefficients de Poisson des différents matériaux, conditions d'interface entre couches ;
- définition du chargement appliqué à la surface de la chaussée (roue simple, jumelage, ou charge circulaire uniforme reproduisant l'impact du FWD (Falling Weight Deflectometer) ;
- définition des bassins de déflexion mesurés sur la chaussée en service ;
- réalisation du calcul mécanique inverse à l'aide du moteur de calcul Alizé-mécanique calculs inverses;
- présentation des résultats du rétrocalcul, sous la forme de modules d'élasticité rétrocalculés.

1.4- Configuration informatique requise, protection contre le piratage

Alizé-Lcpc doit être installé sur micro-ordinateur de type PC, fonctionnant sous un système d'exploitation Windows 32 ou 64 bits (version Windows XP et au-delà) de Microsoft Corporation. Il permet une installation mono-poste ou réseau. La configuration minimale requise est la suivante : type : PC Windows / Ecran couleur VGA / RAM 128Mo / Espace disque libre 20Go

La protection d'Alizé-Lcpc vis à vis du piratage est réalisée par une clé physique mono-poste ou réseau, fournie avec le logiciel. La clé de protection doit obligatoirement être installée sur le port USB du micro-ordinateur (installation individuelle) ou du poste serveur (installation sur un réseau), préalablement à toute utilisation du logiciel.

2 Installation d'Alizé-Lcpc Routes

2.1- Installation automatique par Autorun

Le logiciel Alizé-Lcpc est fourni sur CD-rom. L'introduction du CD-rom dans le lecteur CD du micro-ordinateur déclenche automatiquement l'ouverture d'un menu d'accueil, à l'aide d'une procédure Autorun. Via ce menu, l'utilisateur accède au chapitre Installation de Alizé-Lcpc, dans lequel il peut lancer directement l'installation du logiciel, à l'aide du fichier Setup-AlizeV130.exe, ainsi que l'installation du driver de la clé de protection (clé mono-poste ou clé réseau). L'installation du driver de clef est obligatoire pour permettre l'utilisation du logiciel Alizé-Lcpc.

2.2- Installation manuelle

L'installation en mode manuel est également possible, en particulier en situation de reprise suite à une exécution incomplète de la procédure Autorun. L'installation manuelle se réalise en deux phases :

Installation du logiciel Alizé-Lcpc Routes :

- se placer à l'aide de Windows explorer sur le CD-rom d'installation d'Alizé-Lcpc ;
- se positionner dans le répertoire \Install\Alizé \ ;
- double click sur l'icône du fichier Setup-AlizeV130.exe pour lancer l'installation d'Alizé-Lcpc Routes ;
- mener à terme l'installation en renseignant les différents choix proposés.

Installation du pilote de la clé de protection :

L'installation se fait depuis le répertoire correspondant au type de clé utilisé.

Pour une clé mono-poste :

- se positionner dans le répertoire \Cle\HASP4_driver_setup\ du CD-rom d'installation ;
- double click sur l'icône du fichier Hdd32.exe pour lancer l'installation du driver de clé.

Pour une clé réseau :

- se positionner dans le répertoire \Cle\HASP_License_Manager\ du CD-rom d'installation ;
- pour un poste Windows 7, suivre la procédure décrite dans le fichier \Cle\HASP_License_Manager\Install_LM_Under_Windows_7.pdf
- il est également nécessaire d'effectuer l'adressage du serveur de réseau. Pour cela, ouvrez le fichier nethasp.ini contenu dans le répertoire du logiciel (C:\Program Files\Alize-Lcpc\Alize-Lcpc V130\nethasp.ini), puis éditez la ligne :;;NH_SERVER_ADDR = XX.XX.XXX
  de la manière suivante :
  - supprimez les deux point-virugles du début de ligne
  - remplacez XX.XX.XXX par l'adresse IP de votre poste serveur
  - Enregistrez les modifications et répétez l'opération sur tous les postes clients.

Installation du code alize.cd :

Le fichier " alize.cd " fourni avec la procédure d'installation du programme est à copier dans le répertoire d'installation du logiciel : C:\Program Files\Alize-Lcpc\Alize-Lcpc V130 (*répertoire proposé par défaut)*.

2.3- Commentaires

Il est recommandé d'accepter les options proposées par le programme d'installation, tant en situation d'installation automatique qu'en situation d'installation manuelle.

Mise à jour d'une version d'Alizé-Lcpc déjà installée sur le micro-ordinateur PC par une version plus récente : il est recommandé dans ce cas de désinstaller préalablement cette ancienne version (option Supprimer tous les composants installés, proposée par la procédure d'installation InstallShield d'Alizé), puis de procéder normalement à l'installation de la nouvelle version.

3 Lancement du programme

3.1- Démarrage de l'application

Le lancement du programme s'effectue par double click sur l'icône d'Alizé-Lcpc affichée sur le bureau de l'ordinateur PC à l'issue de l'installation du logiciel. Le programme s'ouvre sur sa feuille principale qui se limite alors à la barre de menu principal assurant la gestion des différentes fonctionnalités offertes par le logiciel (figure 3.1).

Figure 3.1 : Barre de menu principal d'Alizé-Lcpc

3.2- Configuration d'Alizé-Lcpc

A la première utilisation d'Alizé-Lcpc, il est recommandé de procéder à la configuration du programme, à l'aide de la commande Configurer Alizé de la barre de menu principal (figure 3.2). Les différents paramètres de configuration pourront être modifiés à la demande de l'utilisateur, lors des utilisations ultérieures du logiciel.

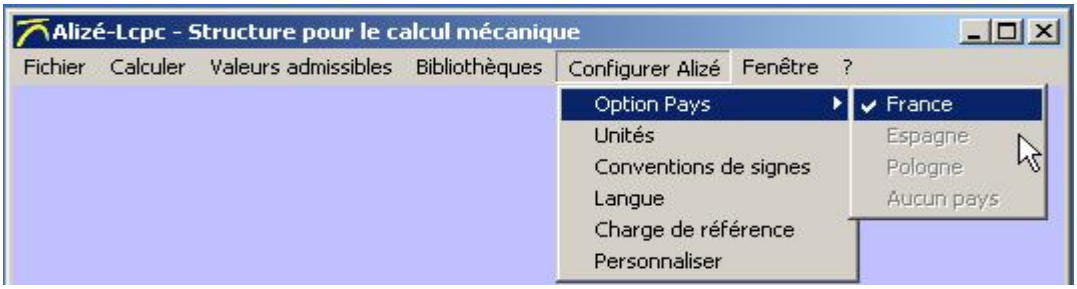


Figure 3.2 : Menu Configurer Alizé de la barre de menu principal

Dans la version 1.3.0 du logiciel, la configuration se limite :

- au choix de la langue utilisée pour l'ensemble des entrées-sorties et des aides (écrans, fichiers et imprimante): Français ou Anglais (figure 3.3).
- à la définition de la charge de référence (onglet Charge de référence) pour les calculs mécaniques (cf. Partie 5 de la présente notice) ;
- éventuellement, au choix d'options personnelles (onglet Personnaliser).
- Pour le module Alizé-mécanique, ces choix concernent (figures 3.4 et 3.5):
- la valeur du coefficient de Poisson par défaut,
- le type d'interface par défaut,
- le mode d'impression des résultats de calcul en cas de variantes (cf. §4.3), et le mode d'impression des valeurs admissibles.
- enfin la valeur de la température équivalente par défaut des matériaux bitumineux.
- Pour le module Alizé-gel, l'option personnelle à fixer concerne l'affichage ou non des résultats de la méthode simplifiée du calcul de la relation latm = f(Qtpf) (figure 3.6, cf. §10.2).
- Pour l'ensemble des modules Alizé-mécanique, Alizé-gel et Alizé-rétrocalcul, l'option Fenêtres élargies (figure 3.5) permet d'augmenter automatiquement les dimensions largeur et hauteur de certaines fenêtres, afin de résoudre divers problèmes de lisibilité constatés en particulier sous le système d'exploitation Windows-Vista, ou en cas d'utilisation de polices larges de caractères.

Figure 3.3 : Menu Configurer Alizé, choix de la langue

Figure 3.4 : Menu Configurer Alizé, Réglages des options personnelles Type d'interface, Mode d'impression des variantes et Mode d'impression des valeurs admissibles

Figure 3.5 : Menu Configurer Alizé, Réglages des options personnelles Température équivalente et Fenêtres élargies

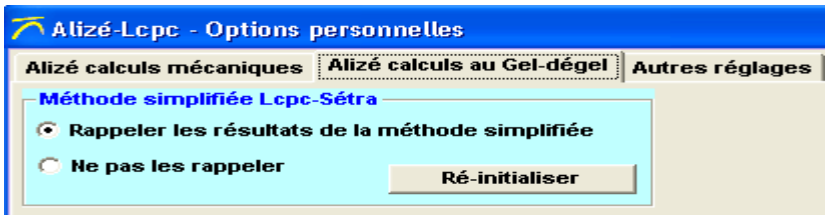


Figure 3.6 : Menu Configurer Alizé, Réglages des options personnelles Vérification Gel-dégel, option Rappel des résultats de la méthode simplifiée

Les autres options de configuration suivantes sont imposées dans la version 1.3.0 d'Alizé :

- Unités : les unités obligatoirement utilisées sont les suivantes :
  - Module Alizé-mécanique : m, MN et unités associées. En particulier, les modules d'Young et les pressions s'expriment donc en Mpa ;
  - Module Alizé-gel : mètre (m), Kilogramme (Kg), Watt (W), degré Celsius (°C), Jour (j) et unités associées.
- Conventions de signes :
  - Extensions et tractions comptées négativement (résultats des calculs mécaniques) ;
  - Déflexion comptée positivement dans le sens de la gravité ;
  - Valeurs admissibles exprimées positivement ;

3.3- Fichiers générés par l'application

En utilisation courante, les données nécessaires à la réalisation des calculs sont consignées dans des fichiers de données gérés par la commande Fichier de la barre de menu principal. La commande Fichier gère à la fois :

- les fichiers de données Structure pour les calculs mécaniques (extension .dat, cf. Partie 4 de la notice) ;
- les fichiers de données Chargement spécial (extension .chg, cf. Partie 5 de la notice) ;
- les fichiers de données Structure pour le calcul de vérification au gel-dégel (extension .dag, cf. Partie 9 de la notice).
- les fichiers de données Structure-Chargement-Déflection pour les calculs inverses (extension .mwd, cf. Partie 11 de la notice).
-

Les résultats des calculs pourront être sauvegardés sur les fichiers au format Ascii suivants :

- les fichiers des valeurs admissibles calculées (extension .adm, cf. Partie 8 de la notice) ;
- les fichiers de résultats du calcul mécanique (extension .res, cf. Partie 7 de la notice) ;
- les fichiers de résultats de la vérification au gel-dégel (extension .res, cf. §10.2 de la notice) ;
- les fichiers de résultats des calculs inverses (extension -retro.res, cf. Partie 11 de la notice).
-

3.4- Naviguer entre les fenêtres Structure mécanique, Charge spéciale et Gel

Il est possible que deux ou trois des feuilles Définition de la structure de chaussée (module Alizé-mécanique), Définition d'un chargement spécial (module Alizé-mécanique) et Définition d'une structure pour la vérification au gel-dégel (module Alizé-gel) soient simultanément actives. Seule une de ces trois fenêtres peut être affichée à l'écran, alors que l'autre ou les deux autre reste(nt) obligatoirement invisible(s). La commande Fenêtre de la barre de menu principal assure le basculement entre les différentes fenêtres simultanément actives.

3.5- Nota important : case à cliquer pour les menus déroulant

Alizé-Lcpc utilise à différentes reprises des cases à cliquer facilement identifiables par leur couleur jaune vif (figure 3.7). Un simple click sur ces cases à l'aide de la souris déclenche le déroulement automatique d'un choix d'options proposé à l'utilisateur.

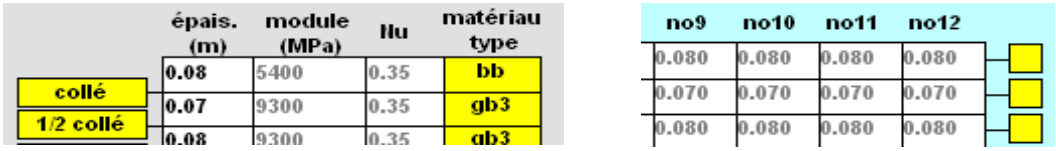


Figure 3.3 : Exemples de cases à cliquer de couleur jaune vif pour le déroulement d'un choix d'options

4 Alizé-mécanique : données concernant la structure de chaussée

4.1- Alizé-mécanique : Principe de modélisation de la structure de chaussée

La modélisation de la chaussée pour les calculs mécaniques selon la démarche du dimensionnement rationnel s'appuie sur la représentation de la structure par un massif multicouche à comportement élastique, isotrope et linéaire.
Les différentes couches de matériau constituant la structure possèdent une épaisseur constante, et leur extension dans le plan horizontal XoY est infinie. De plus, l'extension selon la direction verticale ZZ de la couche inférieure du massif multicouche, représentant en général le substratum ou le sol support, est supposée infinie. La description du fonctionnement mécanique des différentes couches constituant la chaussée se ramène finalement aux paramètres suivants :

- l'épaisseur H ;
- le module d'Young E du matériau ;
- le coefficient de Poisson ¤ du matériau (noté Nu dans Alizé-Lcpc) ;
- les conditions d'interface au sommet et à la base de la couche, caractérisant le type de contact avec les couches adjacentes supérieure et inférieure.

Le modèle prévoit trois types de contact possibles pour caractériser le fonctionnement de l'interface entre couches adjacentes : collée, glissante, ou semi-collée. L'interface de type semi-collé est préconisée par le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées, pour caractériser le contact entre certaines couches de matériaux traités aux liants hydrauliques. Dans cette situation d'interface semi-collée, Alizé enchaîne automatiquement et de façon transparente à l'utilisateur, deux calculs successifs, le premier avec l'hypothèse de contact collé, le second avec l'hypothèse de contact glissant. Les résultats présentés correspondent à la moyenne entre ceux obtenus avec l'hypothèse d'interface collée, et ceux obtenus avec l'hypothèse d'interface glissante.

4.2- Créer et modifier les données Structures

La création d'une nouvelle structure de chaussée pour le module Alizé-mécanique est initiée par la commande Fichier/Nouveau/Structure (figure 4.1).

Une structure de base tricouche est alors créée dans la fenêtre principale.

En fonction de la structure de chaussée visée par l'étude en cours, l'utilisateur doit alors faire évoluer cette structure de base, et renseigner les différents champs de valeurs qui définissent son comportement mécanique, comme reproduit par l'exemple de la figure 4 .2. Il dispose à cet effet des commandes, fonctions et aides résumées dans le tableau 4.1.

Action à réaliser	Bouton ou cellule à actionner
Ajouter une couche	«Ajouter 1 couche»
Supprimer une couche	«Supprimer 1 couche»
Définir la nature d'une interface	cellule «collé» ou «1/2collé» ou «glissante» à gauche de l'interface concernée
Définir les paramètres H (épaisseur), E (module d'Young) et Nu (coefficient de Poisson) des différentes couches	pour chaque matériau : cellule H, E et Nu
Utiliser la bibliothèque des matériaux standard	cellule «autre» ou matériau «xxx» de la colonne « matériau type » à droite de la couche concernée
Modifier les niveaux de calcul	«Modifier les niveaux»
Gérer les variantes de calcul	«Voir/gérer les variantes»
Consulter l'aide Interface	«Nature des interfaces»
Consulter l'aide Epaisseurs technologiques minimales et maximales des couches	«Epaisseurs mini-maxi»

Tableau 4.1 : Liste des commandes pour la création d'une nouvelle structure pour les calculs Alizé-mécanique

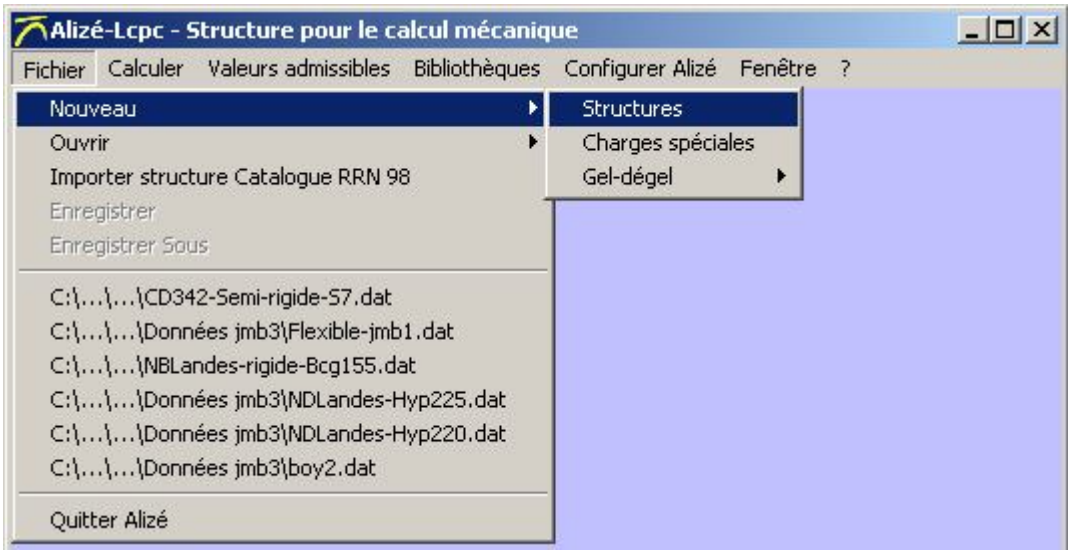


Figure 4.1 : Commande pour la création d'une nouvelle structure pour les calculs Alizé-mécanique

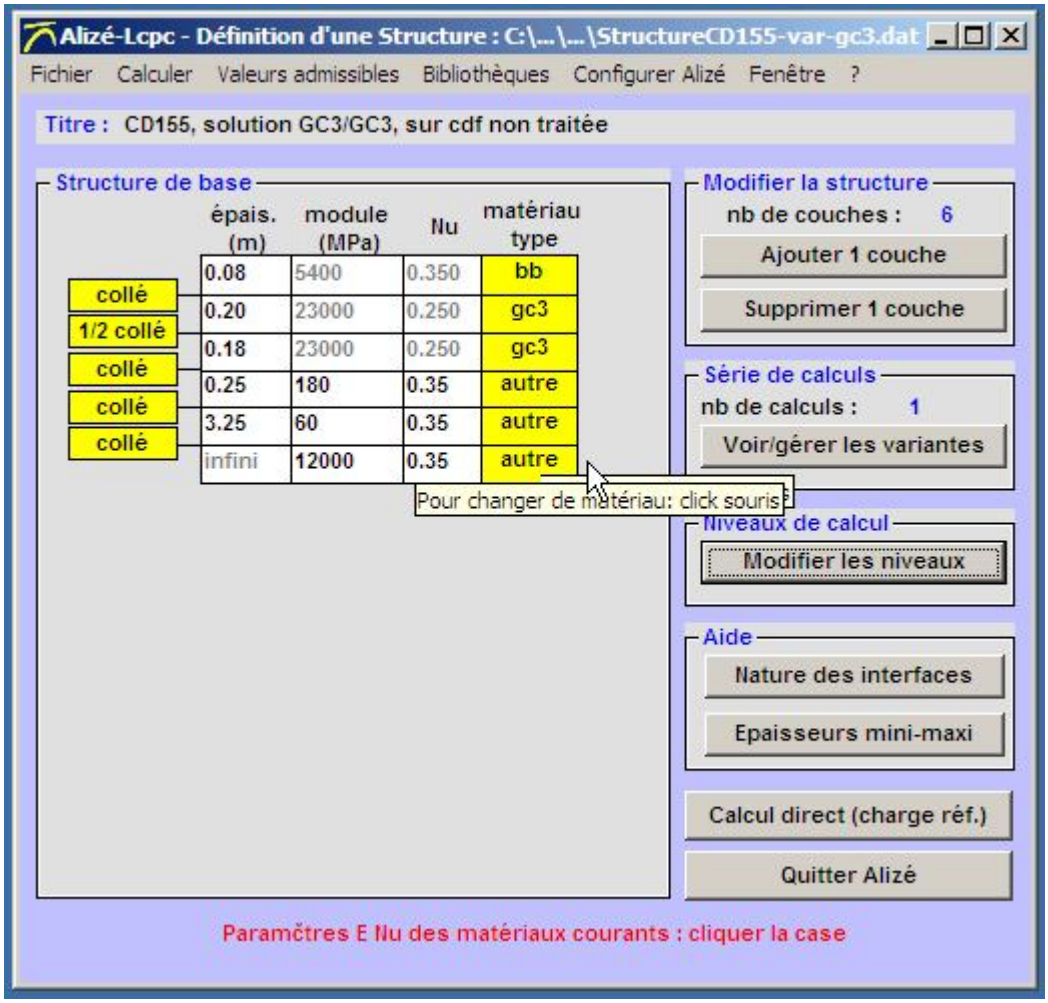


Figure 4.2 : Exemple de structure de chaussée pour les calculs Alizé-mécanique

4.3- Quelques précisions et conseils pour la saisie des données

L'utilisateur est guidé dans la réalisation de ces différentes actions, par un ensemble complet de messages d'aide, et également d'avertissements en présence d'anomalie ou d'erreur. Quelques précisons essentielles sont rapportées ci-dessous :

- Le séparateur décimal utilisé pour l'entrée des valeurs numériques est obligatoirement celui pour lequel le système Windows a été configuré sur le PC utilisé (cf. Panneau de configuration/Options régionales et linguistiques/symbole décimal).
- Il est conseillé de renseigner la ligne réservée au titre de la structure en cours de définition, afin de faciliter par la suite son identification (par exemple lors de la relecture des données ou de l'édition des résultats des calculs).
- Le nombre maximal de couches de matériaux constituant la structure de chaussée et son massif support est limité à 10. Le nombre minimal est de 2.
- Le type d'interface par défaut utilisée par le programme, en situation de création de nouvelle structure, d'ajout de couche ou de suppression de couche, est défini par les options de la feuille Alizé-Lcpc-Options personnelles. Cette feuille s'ouvre par la commande Configurer Alizé/Personnaliser de la barre de menu principal.
- La valeur par défaut affectée au coefficient de Poisson est définie par le champ de saisie prévu à cet effet, dans la même feuille Alizé-Lcpc-Options personnelles (cf. figure 4.3).
- La valeur par défaut affectée à la température équivalente des matériaux bitumineux est définie par le champ de saisie prévu à cet effet, dans la même feuille Alizé-Lcpc-Options personnelles (cf. figure 4.3).

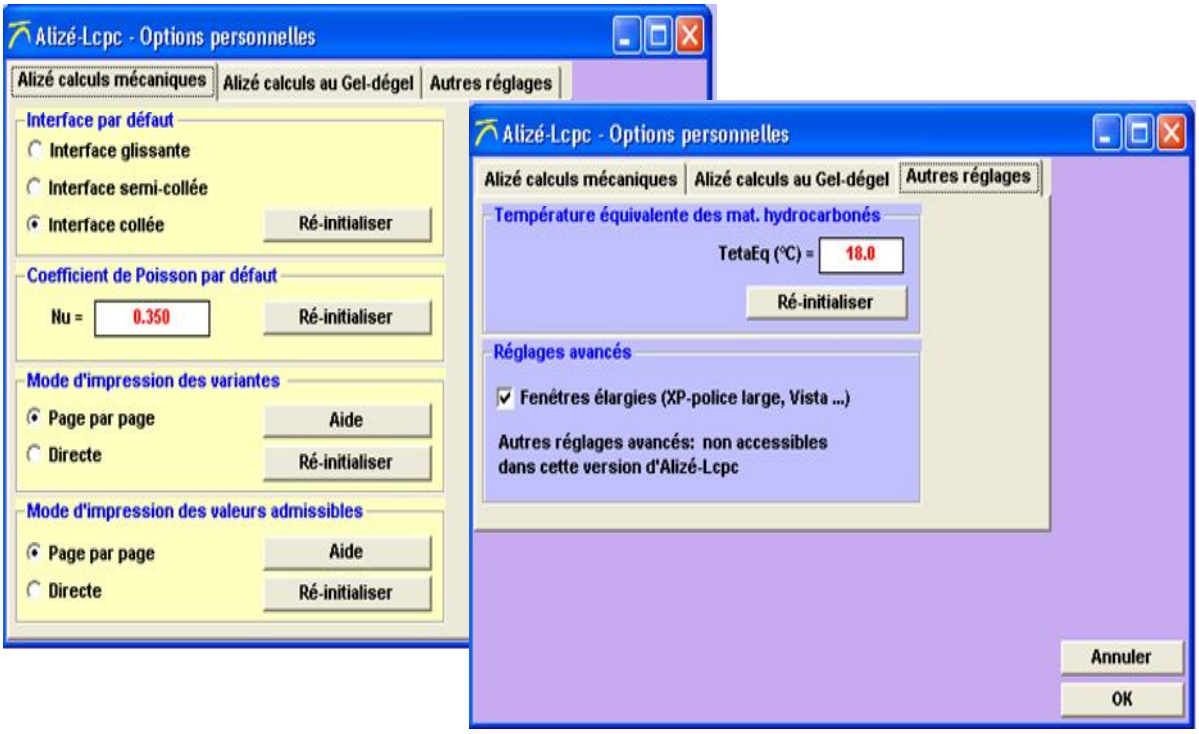


Figure 4.3 : Choix des paramètres par défaut -Type d'interface, Coefficient de Poisson et Température équivalente - pour la création de structures Alizé-mécanique

- Le calcul des sollicitations internes dans les matériaux s'effectue à deux niveaux dans chaque couche de matériau. Ces niveaux sont implicitement ceux des interfaces entre couches, niveaux auxquels les sollicitations internes maximales sont obtenues en général. La commande Niveaux de calcul, qui ouvre la feuille Alizé-Lcpc-Choix des niveaux de calculs permet de modifier ce choix implicite.

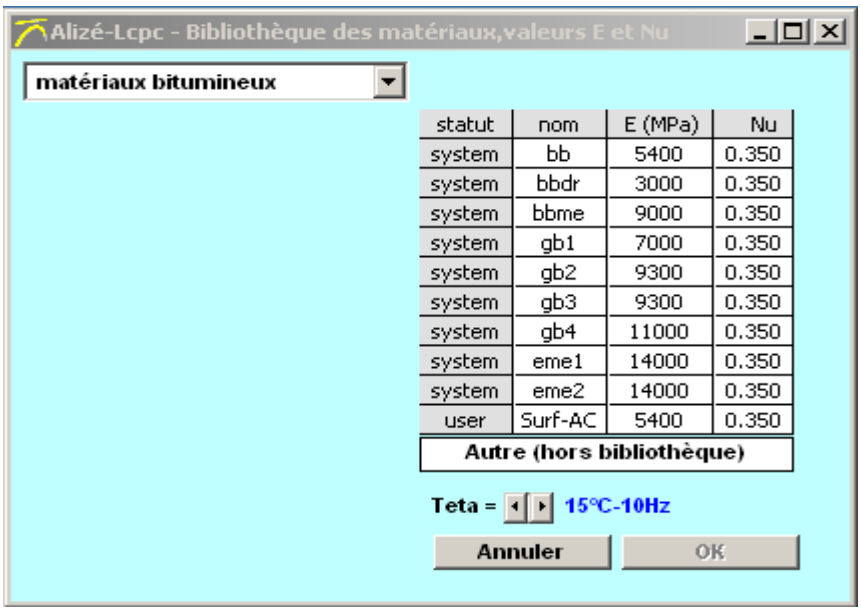

Alizé-Lcpc - Bibliothèque des matériaux,valeurs E et Nu
matériaux bitumineux
statut | nom | E (MPa) | Nu
system | bb | 5400 | 0.350
system | bbdr | 3000 | 0.350
system | bbme | 9000 | 0.350
system | gb1 | 7000 | 0.350
system | gb2 | 9300 | 0.350
system | gb3 | 9300 | 0.350
system | gb4 | 11000 | 0.350
system | eme1 | 14000 | 0.350
system | eme2 | 14000 | 0.350
user | Surf-AC | 5400 | 0.350
Autre (hors bibliothèque)
Teta = 15°C-10Hz
Annuler
OK

Figure 4.4 : Ecran Bibliothèque des matériaux, (valeurs E et Nu), actionné par les cellules de la colonne « matériaux type » depuis la feuille « Définition d'une structure »

- Lorsqu'il est demandé d'attribuer à l'une des couches de la structure les caractéristiques d'un matériau de la Bibliothèque du module Alizé-mécanique (cellule «autre» ou matériau «xxx» de la colonne « matériau type » à droite de la couche concernée) un rappel des matériaux catalogués s'affiche à l'écran (cf. figure 4.4). Il est possible de sélectionner :
- soit un matériau normalisé au sens du guide technique Conception et dimensionnement des chaussées de 1994. Les matériaux normalisés sont repérés par leur sigle alphanumérique conforme aux notations du guide technique, et repérables par leur statut de type « system » ;
- soit un matériau personnel, qui aura préalablement été introduit par l'utilisateur dans la bibliothèque des matériaux du module Alizé-mécanique. Les matériaux personnels sont repérés par leur sigle alphanumérique défini par l'utilisateur, et repérables par leur statut de type « user».

  Pour des compléments sur l'utilisation de la bibliothèque des matériaux du module Alizé-mécanique, on se reportera au §8.2.
- L'aide Nature des interfaces rappelle les hypothèses spécifiées par le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994 et le Catalogue de 1998 (figure 4.5).

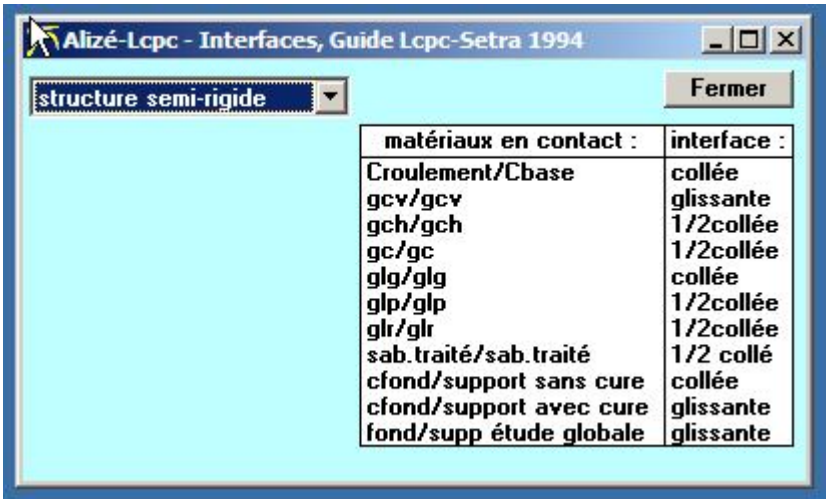


Figure 4.5 : Ecran d'aide Nature des interfaces, actionné par la commande Nature des interfaces depuis la feuille Définition d'une structure

- Pour une structure donnée, il est possible de définir jusqu'à 25 variantes de calcul. Ces variantes sont définies depuis la feuille Alizé-Lcpc-Gestion-définition des variantes de calcul, appelée par la commande Voir/gérer les variantes de la feuille principale. Par rapport aux données de la structure de base, les variantes de calcul portent :
- soit sur des variations d'épaisseur d'une ou plusieurs couches (cf. exemple de la figure 4.6) ;
- soit sur des variations de module d'Young d'une ou plusieurs couches.

Dans les problèmes de dimensionnement courants, la définition de variantes de calcul simplifie la recherche de la solution en permettant un enchaînement automatique des calculs propres à chaque variante pré-définie.

- L'aide Epaisseurs technologiques minimales rappellent les valeurs minimales et maximales d'épaisseur de mise en œuvre des matériaux, prise en compte pour l'établissement du Catalogue 1998 (figure 4.7).

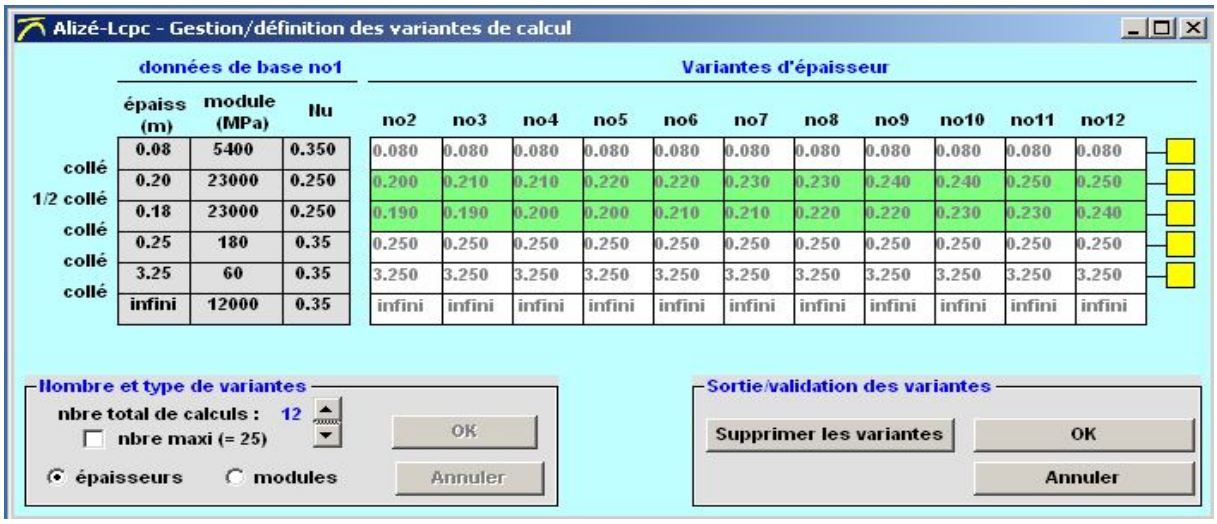

Alizé-Lcpc - Gestion/définition des variantes de calcul
données de base no1
Variantes d'épaisseur
épaiss (m)
module (MPa)
Nu
no2 no3 no4 no5 no6 no7 no8 no9 no10 no11 no12
collé 0.08 5400 0.350 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
1/2 collé 0.20 23000 0.250 0.200 0.210 0.210 0.220 0.220 0.230 0.230 0.240 0.240 0.250 0.250
collé 0.18 23000 0.250 0.190 0.190 0.200 0.200 0.210 0.210 0.220 0.220 0.230 0.230 0.240
collé 0.25 180 0.35 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250
collé 3.25 60 0.35 3.250 3.250 3.250 3.250 3.250 3.250 3.250 3.250 3.250 3.250 3.250
infini 12000 0.35 infini infini infini infini infini infini infini infini infini infini infini
Nombre et type de variantes
nbre total de calculs : 12
nbre maxi (= 25)
épaisseurs
modules
OK
Annuler
Sortie/validation des variantes
Supprimer les variantes
OK
Annuler

Figure 4.6 : Exemple de définition de variantes de calcul, actionné par la commande Modifier les niveaux de calcul depuis la feuille Définition d'une structure

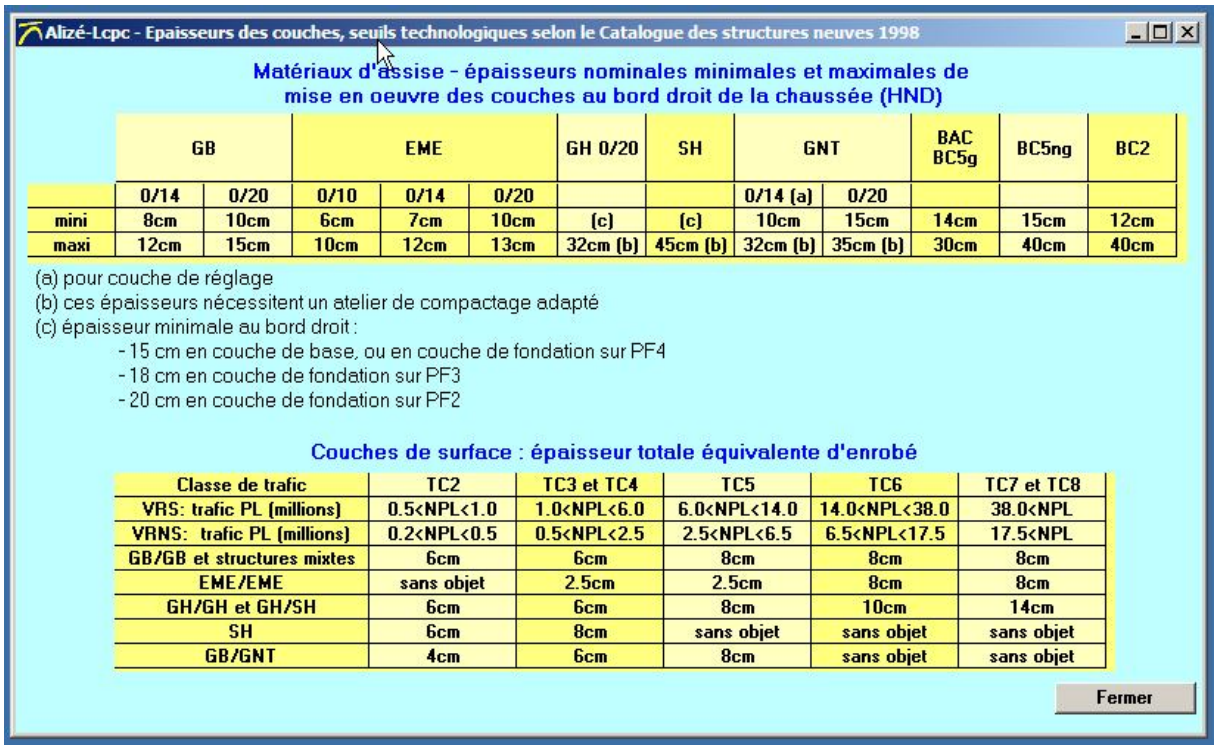

Alizé-Lcpc - Epaisseurs des couches, seuils technologiques selon le Catalogue des structures neuves 1998
Matériaux d'assise - épaisseurs nominales minimales et maximales de mise en oeuvre des couches au bord droit de la chaussée (HND)
GB EME GH 0/20 SH GNT BAC BC5g BC5ng BC2
0/14 0/20 0/10 0/14 0/20 0/14 (a) 0/20
mini 8cm 10cm 6cm 7cm 10cm (c) (c) 10cm 15cm 14cm 15cm 12cm
maxi 12cm 15cm 10cm 12cm 13cm 32cm (b) 45cm (b) 32cm (b) 35cm (b) 30cm 40cm 40cm
(a) pour couche de réglage
(b) ces épaisseurs nécessitent un atelier de compactage adapté
(c) épaisseur minimale au bord droit :
- 15 cm en couche de base, ou en couche de fondation sur PF4
- 18 cm en couche de fondation sur PF3
- 20 cm en couche de fondation sur PF2
Couches de surface : épaisseur totale équivalente d'enrobé
Classe de trafic TC2 TC3 et TC4 TC5 TC6 TC7 et TC8
VRS: trafic PL (millions) 0.5<NPL<1.0 1.0<NPL<6.0 6.0<NPL<14.0 14.0<NPL<38.0 38.0<NPL
VRNS: trafic PL (millions) 0.2<NPL<0.5 0.5<NPL<2.5 2.5<NPL<6.5 6.5<NPL<17.5 17.5<NPL
GB/GB et structures mixtes 6cm 6cm 8cm 8cm 8cm
EME/EME sans objet 2.5cm 2.5cm 8cm 8cm
GH/GH et GH/SH 6cm 6cm 8cm 10cm 14cm
SH 6cm 8cm sans objet sans objet sans objet
GB/GNT 4cm 6cm 8cm sans objet sans objet
Fermer

Figure 4.7 : Ecran d'aide Epaisseurs des couches, seuils technologiques selon le Catalogue des structures neuves de 1998, actionnée depuis la commande Epaisseurs mini-maxi de la feuille Définition d'une structure

4.4- Consultation et importation des fiches du Catalogue Lcpc-Setra 1998

Les fiches des différentes structures types du Catalogue des chaussées neuves (Lcpc-Sétra 1998) peuvent être consultées à l'aide de la commande Fichier/Importer structure Catalogue RRN 1998 (figure 4.8). Elles peuvent de plus être directement transposées dans la feuille principale Définition d'une structure – Structure de base, en tant que données de calcul pour le logiciel Alizé (figure 4.9).

Il est également possible de consulter ces différentes fiches de structures types du Catalogue 1998 à l'aide de la commande Structures catalogue 1998 de la feuille Calcul des valeurs admissibles (Cf. Partie 8).

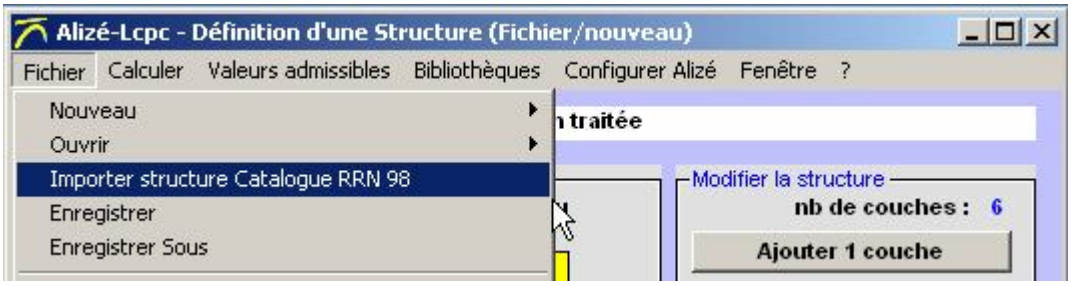


Figure 4.8 : Commande pour la consultation et/ou l'importation des structures du Catalogue des chaussées neuves (Lcpc-Sétra 1998à)

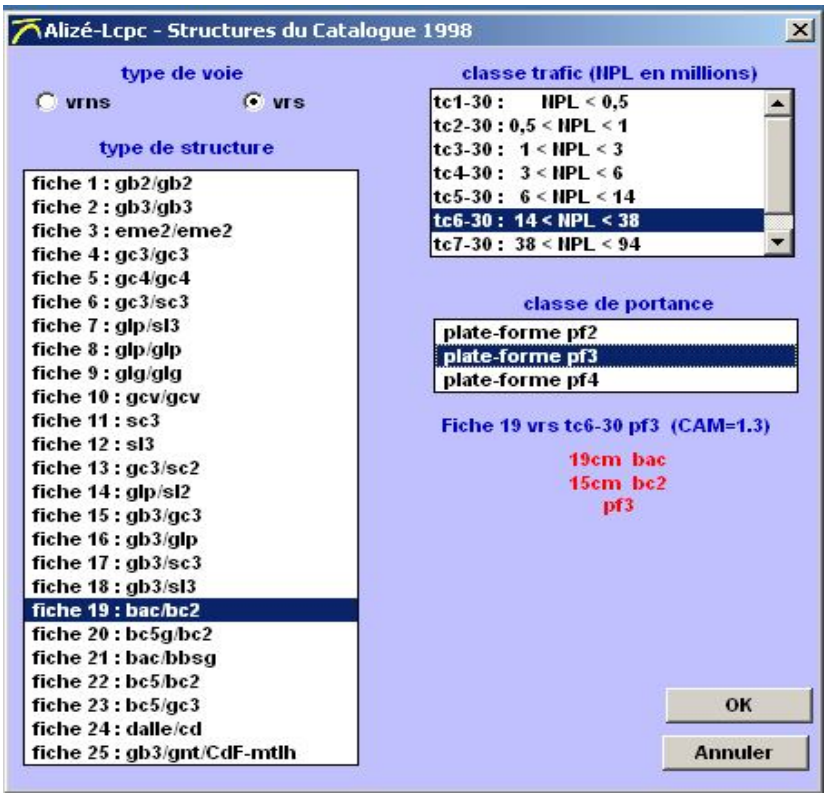


Figure 4.9 : Ecran Consultation des structures du Catalogue des chaussées neuves, Lcpc-Sétra 1998

4.5- Enregistrement et lecture des fichiers de données

Lorsqu'une structure de chaussée a été complètement définie et avant de poursuivre dans l'utilisation du logiciel, il est recommandé de sauvegarder l'ensemble des données relatives à cette structure. La sauvegarde s'effectue par la commande Fichier/Enregistrer ou de la barre de menu principal. L'opération d'enregistrement sur fichier est assurée classiquement par une boîte de dialogue au standard Windows.

Les commandes Fichier/Ouvrir et Fichier/Enregistrer sont également au standard Windows. Elles permettent quant à elles la lecture et l'enregistrement de fichiers de structures préalablement définis.

5 Alizé-mécanique : données concernant le chargement du modèle

5.1- Définition de la charge de référence

Dans les applications courantes de dimensionnement des chaussées routières, une charge de référence est en général pré-définie (cf. annexe A1). Le chargement de la structure de chaussée sera réalisé, pour ces dimensionnements courants, avec la charge de référence qui est en général unique et immuable dans un contexte de dimensionnement donné.

La définition de la charge de référence est initiée par la commande Configurer Alizé/Charge de référence de la barre de menu principal. Elle ouvre la feuille Alizé-Lcpc-Définition de la charge de référence » (cf. figure 5.1).

Caractéristiques de la charge de référence
La charge de référence définie ici sera mémorisée par le logiciel pour les utilisations futures, jusqu'à ce qu'une charge de référence différente soit éventuellement fixée.

La définition d'une charge de référence n'est toutefois pas obligatoire. Les calculs du module Alizé-mécanique s'effectueront alors obligatoirement avec, pour chargement appliqué à la surface de la chaussée, un chargement dénommé charge spéciale, défini comme indiqué au §5.2.

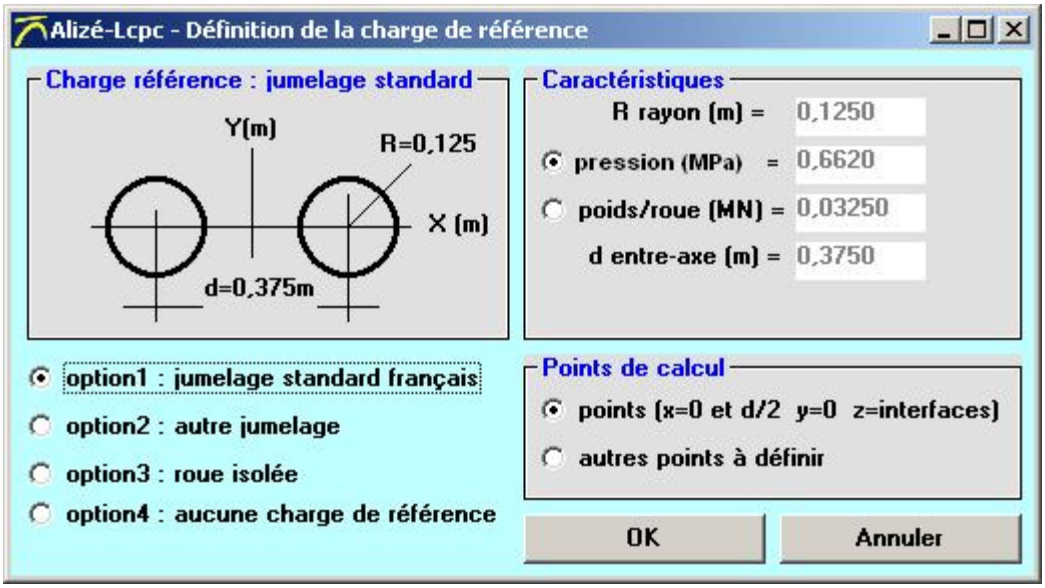


Figure 5.1 : Configuration d'Alizé, définition de la charge de référence.

Profils verticaux de calculs
Les profils verticaux de calculs, associés aux niveaux de calcul (cf. §4.2), définissent les points pour lesquels le calcul mécanique des sollicitations internes sera effectué par le moteur de calcul Alizé-mécanique. Les profils verticaux de calcul pré établis pour la charge de référence sont les suivants (profils conventionnels guidés par la démarche de dimensionnement rationnelle) :

- Cas de la charge de référence constituée d'une roue isolée : un profil vertical de calcul unique, correspondant à l'axe du cercle définissant la charge ;
- Cas de la charge de référence constituée d'un jumelage : deux profils verticaux de calcul, correspondant l'un à l'axe du cercle définissant l'une de deux charges, et l'autre à l'axe de symétrie centrale du jumelage.

Les profils de calculs attachés à la charge de référence ne sont pas modifiables. Lorsque ceci est demandé, le chargement perd son caractère de charge de référence. Il est assimilé par le logiciel à une charge quelconque, dont la définition relève de la saisie des charges spéciales comme indiqué au §5.2.

5.2- Définition des charges spéciales

La création d'une nouvelle charge spéciale pour le module Alizé-mécanique est initiée par la commande Fichier/Nouveau/Charges spéciales/Charges multi-roues de la barre de menu principal (cf. figure 5.2).

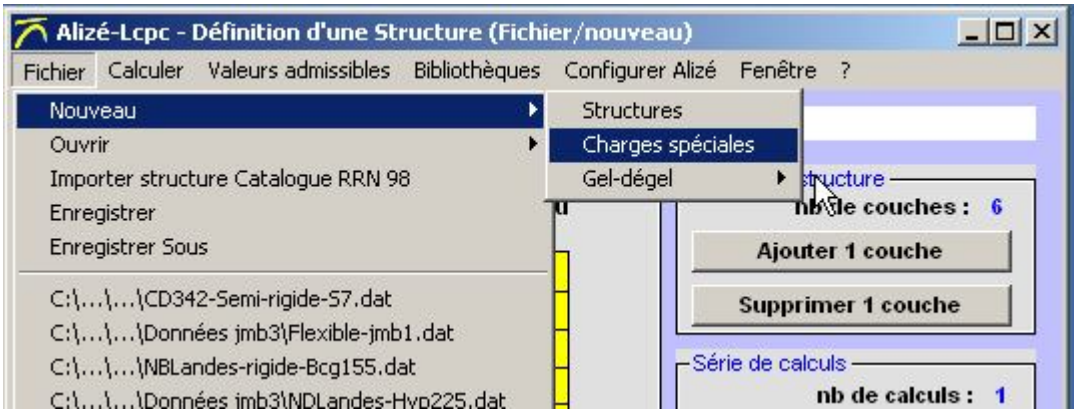


Figure 5.2 : Commande pour la création d'une nouvelle charge spéciale

Caractéristiques du chargement spécial
Une charge spéciale est constituée d'un ensemble de charges unitaires, circulaires verticales, appliquées à la surface de la chaussée. Le nombre de charges isolées constituant ce chargement complet peut varier entre 1 et 1000. Les caractéristiques des charges (rayon, poids et pression) peuvent varier d'une charge isolée à l'autre (cf. figure 5.3).

Profils verticaux de calculs
Outre les données définissant l'ensemble du chargement spécial en termes de géométrie et de poids ou de pression appliqué aux différentes roues, il est en général nécessaire de définir également les profils verticaux de calcul (cf. figure 5.3). Ceci n'est toutefois pas le cas lorsque les calculs sont par la suite lancés en mode Calcul grille-séca (cf. §5.3)

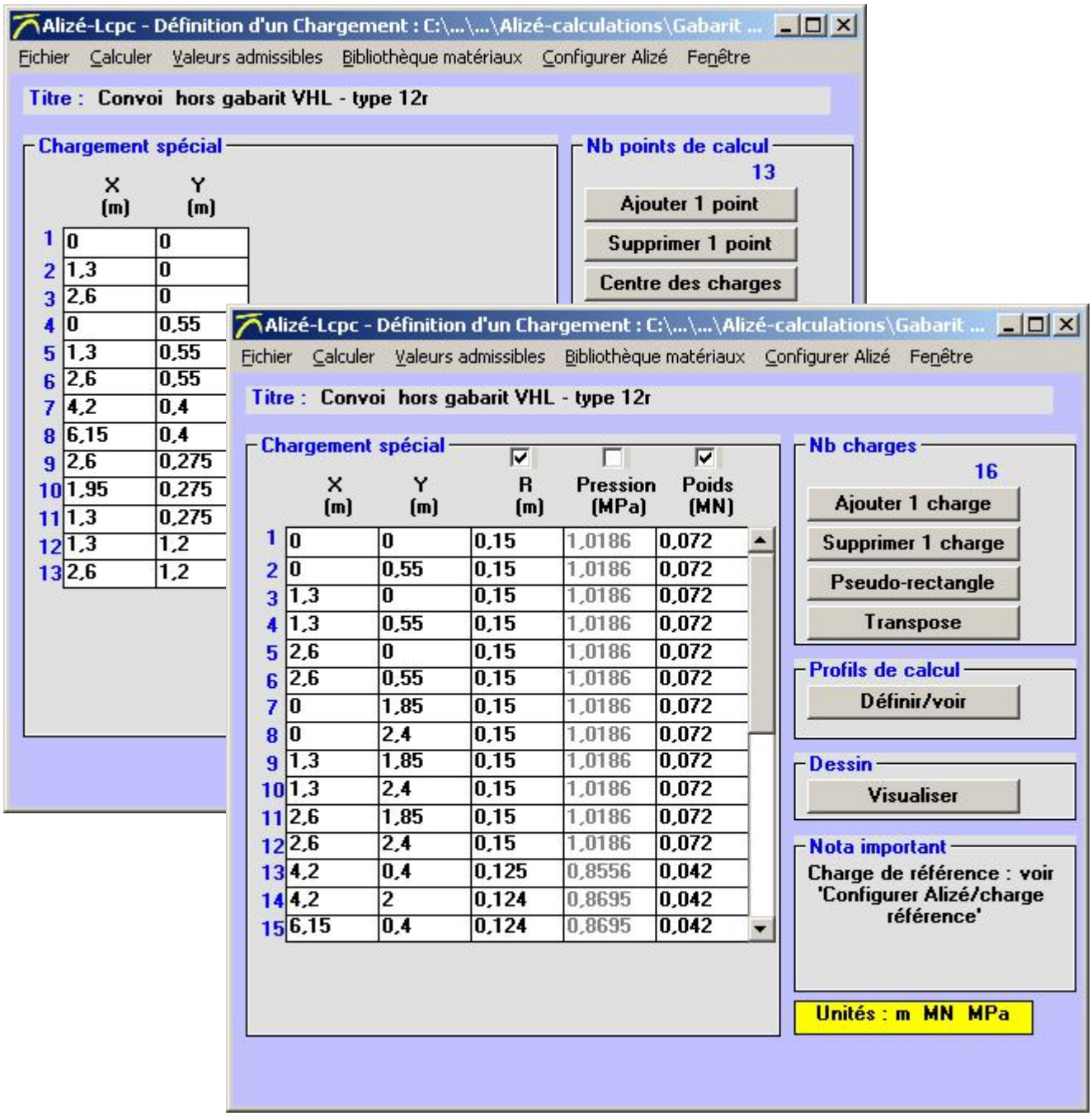

Alizé-Lcpc - Définition d'un Chargement : C:\...\...\Alizé-calculations\Gabarit ...
Fichier Calculer Valeurs admissibles Bibliothèque matériaux Configurer Alizé Fenêtre
Titre : Convoi hors gabarit VHL - type 12r
Chargement spécial
X (m) Y (m)
1 0 0
2 1,3 0
3 2,6 0
4 0 0,55
5 1,3 0,55
6 2,6 0,55
7 4,2 0,4
8 6,15 0,4
9 2,6 0,275
10 1,95 0,275
11 1,3 0,275
12 1,3 1,2
13 2,6 1,2
Nb points de calcul
13
Ajouter 1 point
Supprimer 1 point
Centre des charges
Alizé-Lcpc - Définition d'un Chargement : C:\...\...\Alizé-calculations\Gabarit ...
Fichier Calculer Valeurs admissibles Bibliothèque matériaux Configurer Alizé Fenêtre
Titre : Convoi hors gabarit VHL - type 12r
Chargement spécial
X (m) Y (m) R (m) Pression (MPa) Poids (MN)
1 0 0 0,15 1,0186 0,072
2 0 0,55 0,15 1,0186 0,072
3 1,3 0 0,15 1,0186 0,072
4 1,3 0,55 0,15 1,0186 0,072
5 2,6 0 0,15 1,0186 0,072
6 2,6 0,55 0,15 1,0186 0,072
7 0 1,85 0,15 1,0186 0,072
8 0 2,4 0,15 1,0186 0,072
9 1,3 1,85 0,15 1,0186 0,072
10 1,3 2,4 0,15 1,0186 0,072
11 2,6 1,85 0,15 1,0186 0,072
12 2,6 2,4 0,15 1,0186 0,072
13 4,2 0,4 0,125 0,8556 0,042
14 4,2 2 0,124 0,8695 0,042
15 6,15 0,4 0,124 0,8695 0,042
Nb charges
16
Ajouter 1 charge
Supprimer 1 charge
Pseudo-rectangle
Transpose
Profils de calcul
Définir/voir
Dessin
Visualiser
Nota important
Charge de référence : voir 'Configurer Alizé/charge référence'
Unités : m MN MPa

Figure 5.3 : Définition d'une charge spéciale, exemple d'un convoi 16 roues, définition des charges et des profils verticaux de calculs

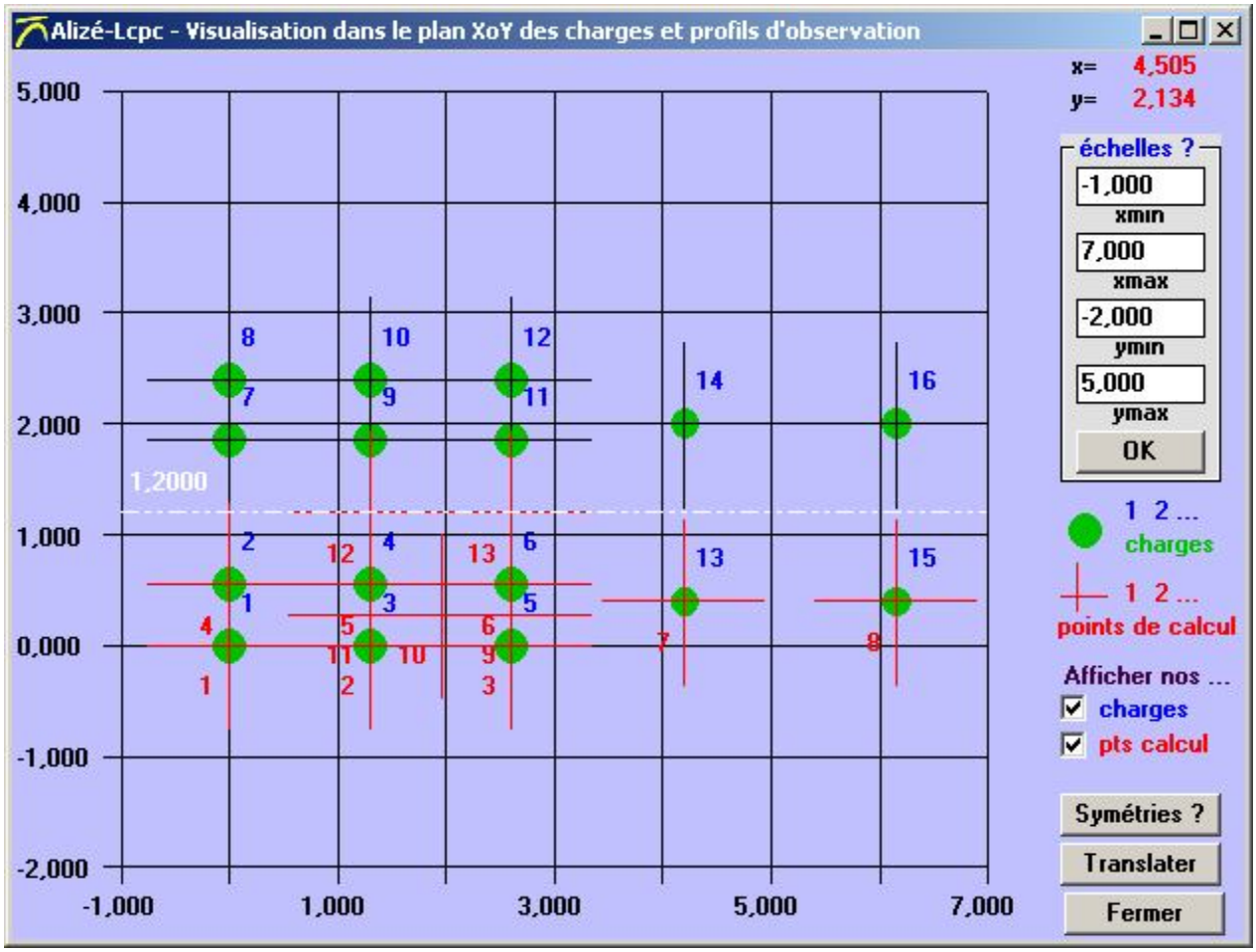


Figure 5.4 : Visualisation d'une charge spéciale, exemple d'un convoi 16 roues

Le basculement depuis l'écran Caractéristiques des charges X, Y, Rayon, Pression, Poids vers l'écran Coordonnées X, Y des points de calcul s'effectue à l'aide de la commande Définir/Voir du cadre Profil de calcul de l'écran Caractéristiques de charges.

Le basculement depuis l'écran Coordonnées X, Y des points de calcul vers l'écran Caractéristiques des charges X, Y, Rayon, Pression, Poids s'effectue à l'aide de la commande Définir/Voir du cadre Profil de calcul de l'écran Coordonnées X, Y des points de calcul.

La commande Visualiser présente sur chacun de ces deux écrans permet de visualiser la vue dans le plan horizontal XoY du chargement spécial en cours de saisie. Un exemple est présenté sur la figure 5.4.

Enregistrement sur fichier
Lorsqu'un chargement spécial a été complètement défini et avant de poursuivre dans l'utilisation du logiciel, il est recommandé de sauvegarder l'ensemble des données relatives à ce chargement, à l'aide de la commande Fichier/Enregistrer sous de la barre de menu principal (cf. §4.4). Les commentaires généraux exprimés au §4.4, relatifs aux opérations d'enregistrement et d'ouverture de fichier de données à l'aide de la boîte de dialogue au standard Windows, s'appliquent également ici.

5.3- Charges spéciales pseudo-rectangulaires

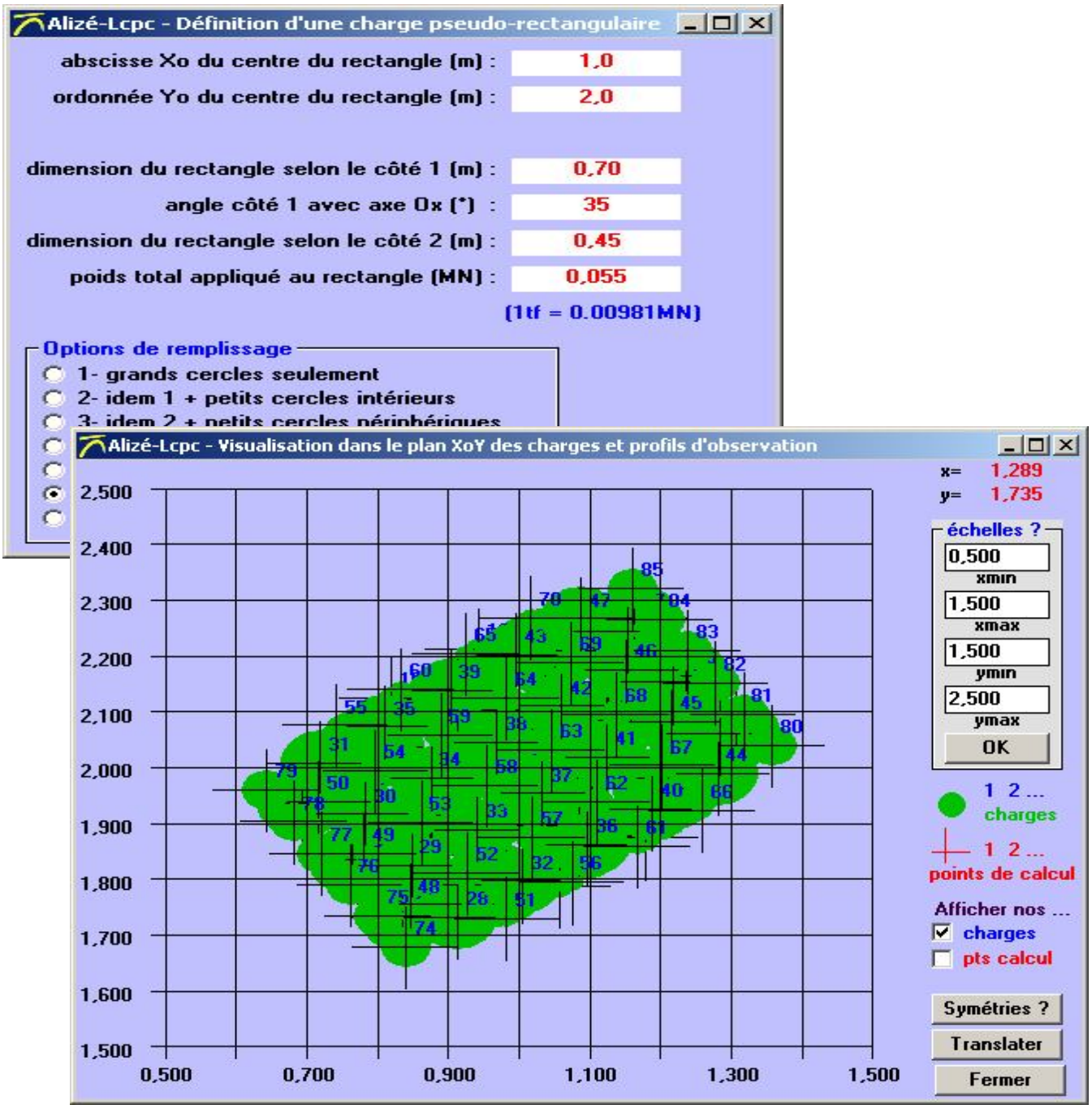


Figure 5.5 : Génération automatique d'un chargement pseudo-rectangulaire

La feuille Définition des charges spéciales de Alizé-Lcpc comporte également un processus automatique assurant la représentation d'une charge au contour rectangulaire, uniformément chargée, par un ensemble plus ou moins dense de charges circulaires élémentaires inscrites dans le contour du rectangle. Cette procédure de génération de charges est initiée par la commande Pseudo-rectangle de la feuille Charges spéciales.

Cette méthode permet de reproduire des chargements pour lesquels l'assimilation de la surface de contact pneumatique-chaussée par un cercle ou un nombre réduit de cercles, s'avérerait trop simplificatrice. Un exemple de chargement spécial pseudo-rectangulaire est représenté sur la figure 5.5.

6 Alizé-mécanique : lancement des calculs

6.1- Les deux modes de calcul mécanique

Préalablement au lancement d'un calcul par le module Alizé-mécanique, l'utilisateur doit spécifier d'une part la structure de chaussée, et d'autre part le chargement (charge de référence ou chargement spécial), pour lesquels le calcul est demandé. Ces deux ensembles de données sont gérés par le logiciel de façon indépendante : enregistrement sur des fichiers spécifiques distincts et indépendants, affichage sur deux fenêtres écran différentes, possibilité de calcul pour toute association Structure – Chargement.

Deux modes de calcul sont possibles :

- le calcul de type standard, pour le chargement constitué de la charge de référence ou d'un chargement spécial. Les résultats seront calculés en des points (points de calcul) situés sur les profils verticaux de calcul définis avec le chargement (cf. §5.1 et 5.2). Sur chaque profil vertical, les calculs seront effectués en 2 points de chaque couche (cf. §4.2, Niveaux de calcul). Ce mode de calcul est en général retenu pour les calculs de dimensionnement courants. Les résultats seront présentés sous forme de tableaux de valeurs des sollicitations calculées à chacun des points de calcul.
- le calcul de type Grille-séca, pour lequel les profils verticaux de calcul sont définis par une grille. Les points de calcul constituent ainsi, à chaque niveau de calcul, un semi de points à maille carrée dont le pas (côté de la maille carrée) et l'étendue sont fixés par l'utilisateur. Les résultats seront présentés sous forme de profils longitudinaux et transversaux, ou de surfaces d'isovaleurs 2D ou 3D. Ce second mode de présentation des calculs permet une visualisation plus complète du fonctionnement global de la structure de chaussée pour un chargement donné. Il trouve également des applications dans les études de comportement d'une chaussée sous chargement complexe. Dans cette situation, la pré-localisation des sollicitations maximales peut en effet s'avérer délicate, ce qui complique la définition a priori des profils verticaux de calcul. La présentation des résultats suivant des profils longitudinaux et transversaux, ou suivant des surfaces 2D ou 3D, facilite en général cette localisation.

6.2- Commandes pour le lancement des calculs mécaniques

Nota : Pour le calcul Alizé-mécanique d'une structure affichée à l'écran, utilisant pour chargement la charge de référence, la commande Calcul direct (cf. plus bas), plus simple d'utilisation et constituant en fait un raccourci, sera de préférence utilisée.

Cas général

Le lancement du calcul Alizé s'effectue par la commande Calculer/Alizé de la barre de menu principal (cf. figure 6.1).

Cette commande ouvre l'écran Lancement des calculs mécaniques (cf. figure 6.2), qui permet de définir la structure de chaussée et le chargement, pour lesquels le calcul est demandé. Toutes les combinaisons sont possibles :

- calcul pour la structure de chaussée affichée (éventuellement) sur la fenêtre Structure ou lecture sur fichier Structure ;
- chargement de référence ou charge spéciale ;
- dans le cas de chargement par une charge spéciale, calcul pour la charge affichée sur la fenêtre Chargement (éventuellement) ou lecture sur fichier Chargement ;
- calcul de type Standard ou Grille-séca.

Figure 6.1 : Lancement du calcul Alizé-mécanique, cas généra

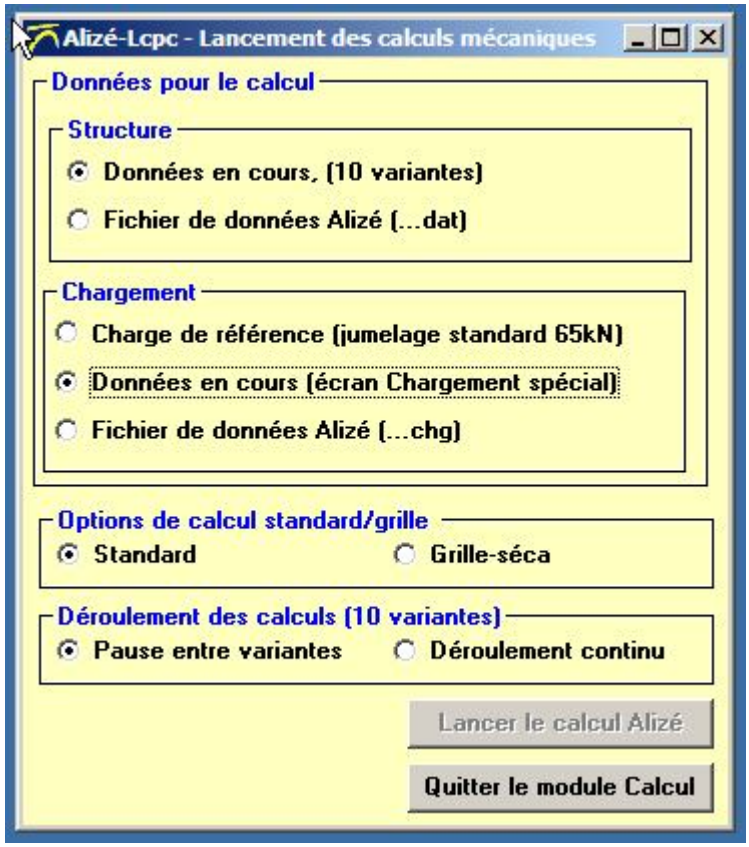


Figure 6.2 : Lancement du calcul Alizé, choix des données Structure, Chargement et type de calcul

Cas particulier : commande Calcul direct pour la charge de référence
Pour réaliser un calcul utilisant comme données la structure affichée à l'écran et la charge de référence (cf. §5.1), la commande Calcul direct (feuille principale Définition de la structure) sera utilisée de préférence (cf. figure 6.3). L'écran Lancement des calculs mécaniques présenté sur la figure 6.2 est en effet inutile dans cette situation, et la commande Calcul direct constitue en fait un raccourci accélérant le lancement des calculs puis l'accès à leurs résultats.

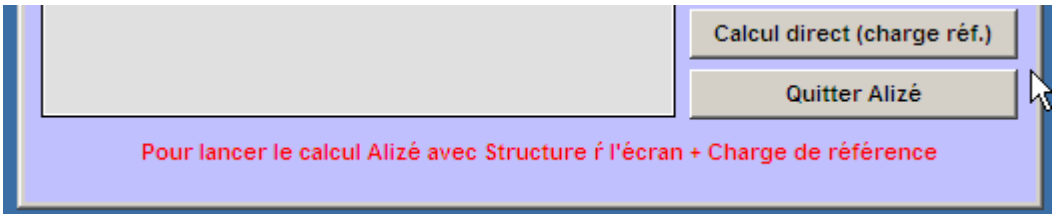


Figure 6.3 : Lancement du calcul Alizé-Mécanique par la commande « Calcul direct »

6.3- Lancement d'un calcul en mode Grille-séca

Lorsque le mode de calcul Grille-séca a été sélectionné (cf. figure 6.2), la commande Lancer le calcul Alizé de l'écran Lancement des calculs mécaniques n'actionne pas directement le moteur de calcul Alizé, comme cela est le cas en situation de calcul standard.

Le calcul Grille-séca appelle en effet des données complémentaires, qui sont définies via la fenêtre Définition d'un calcul Grille-séca. Les données supplémentaires nécessaires aux calculs sont les suivantes (cf. figure 6.4, 6.5 et 6.6) :

- paramètrage de la grille : en situation de calcul Grille-séca, les points du plan XoY définissant les profils de calcul constituent un semi de points rectangulaire défini par sa longueur, sa largeur et les dimensions de la maille carrée élémentaire, désignée «pas» de la grille. Alizé propose automatiquement une grille de calcul, en fonction de la géométrie du chargement (charge de référence ou charge spéciale). L'utilisateur peut modifier s'il le souhaite, cette grille initiale, en jouant sur les paramètres suivants :
- symétries de la grille : il est possible de désactiver les éventuelles symétries, détectées automatiquement par le programme ;
- débord : le débord représente la distance entre les limites de la grille et le centre de la charge la plus proche. Le débord est identique selon les directions XX et YY ;

- pas : le pas de la grille conditionne directement le nombre de profils de calcul, la place mémoire nécessaire et le temps de calcul Alizé. A titre d'exemple, la taille maximale de la grille est d'environ 850 000 profils de calcul sur PC P3, Ram 128 MO.
- type de profils de paramètres à calculer. Il est possible de demander les calculs suivant des profils horizontaux (cf. figure 6.4) dans les directions longitudinale et transversale ou suivant des profils verticaux (cf. figure 6.5).
- paramètres à calculer : afin de limiter le temps des calculs et le volume de leurs résultats, il est conseillé de limiter le nombre de paramètres à calculer, en spécifiant ici les grandeurs qui seront effectivement exploitées dans la suite de l'étude. Les grandeurs spécifiées peuvent varier selon la couche de matériau, et le point de calcul dans chaque couche. Pour simplifier la déclaration de ces paramètres, 6 options comportant chacune une liste pré-établie de grandeurs à calculer, sont proposées (cf. tableau 6.1). La sélection de l'option s'effectue par un ou plusieurs click successifs sur la case à cliquer (couleur jaune vif) correspondant au niveau de calcul choisi.

Consigne Affichée	Nbre de paramètres	Désignation des paramètres à calculer
SigmaT	7	SigmaXX, SigmaYY,Sigma1, Sigma2, Téta (XoY), p et q
EpsilonT	7	EpsiXX, EpsiYY, Epsi1, Epsi2, Téta (XoY), EpsiV et EpsiD
SigmaZ	3	Sigma ZZ, p et q
EpsilonZ	3	EpsiZZ, EpsiV et EpsiD
SigXX...ZX	10	SigmaXX, SigmaYY, SigmaZZ, SigmaXY, SigmaYZ, SigmaZX, Sig1, Sig2, Teta (YoZ) et W
EpsXX...ZX	10	EpsilonXX, EpsYY, EpsZZ, EpsilonXY, EpsYZ, EpsZX, Eps1, Eps2, Teta (YoZ) et W

Tableau 6.1 : Calcul selon le mode Grille-séca, choix des grandeurs à calculer

Nota 1 : dans la liste ci-dessus, « Epsi » ou « Eps » désignent Epsilon (déformation), « Sig » désigne Sigma (contrainte), « Teta » l'angle de rotation des contraintes ou déformations, W le déplacement vertical.

Nota 2 : en situation de données Structure comportant plusieurs variantes, le calcul de type Grille-séca n'est effectué que pour la première variante (données de base). Le calcul d'une variante autre exige un retour à la fenêtre principale Structure, et la transposition des données de la variante considérée, dans les données de base.

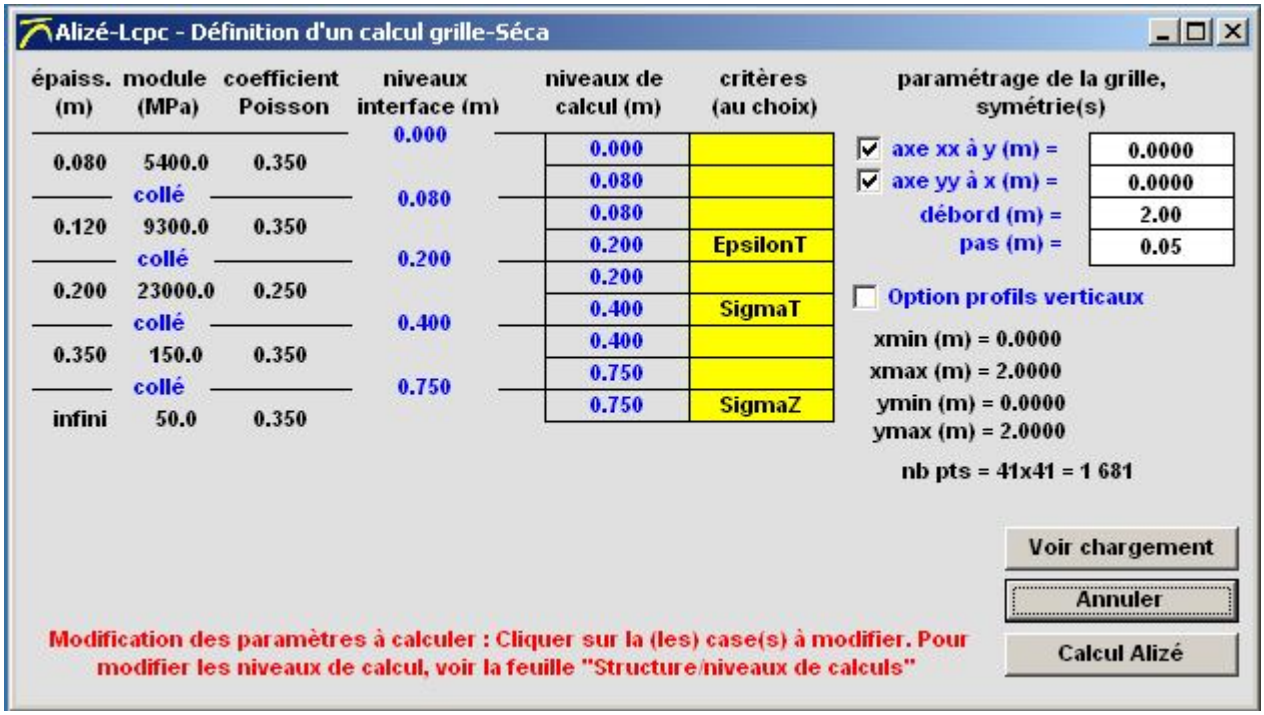


Figure 6.4 : Lancement du calcul Grille-séca, paramétrage des grandeurs à calculer dans le cas de calculs selon des profils horizontaux dans la direction longitudinale (XX) et transversale (YY)

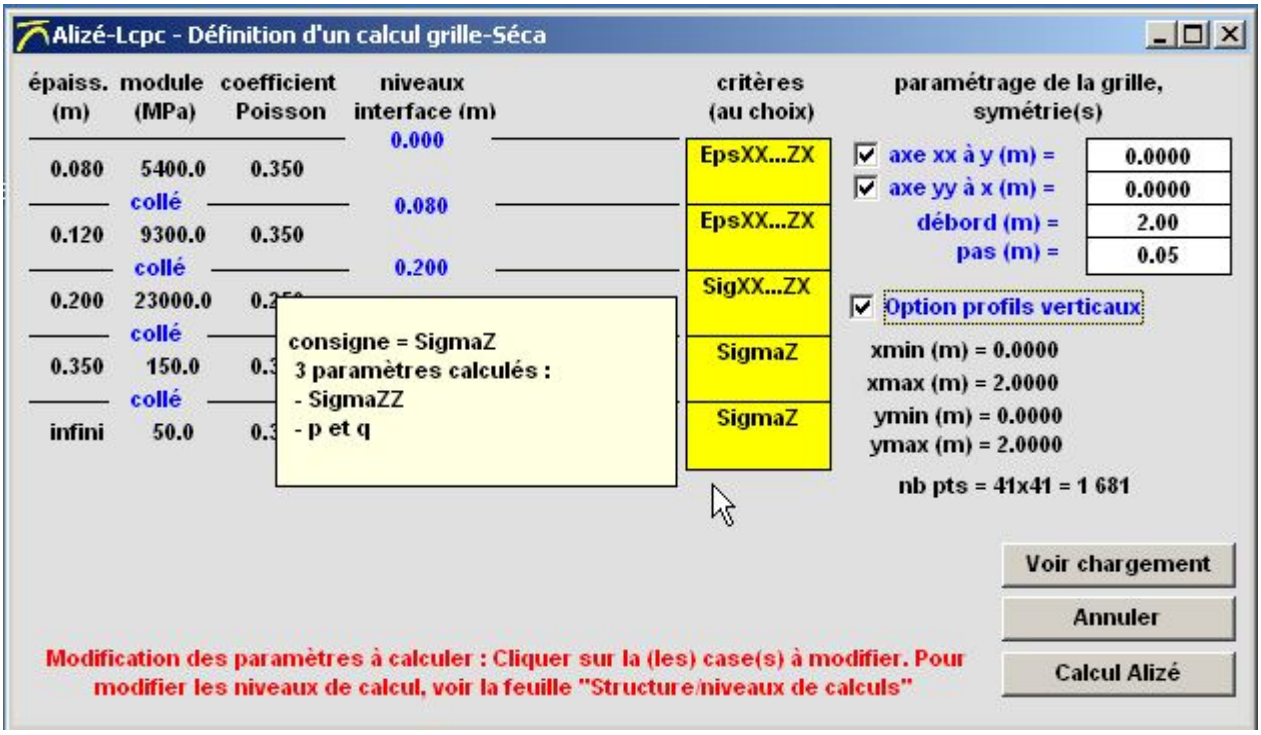


Figure 6.5 : Lancement du calcul Grille-séca, paramétrage des grandeurs à calculer dans le cas de calculs selon des profils verticaux (ZZ)

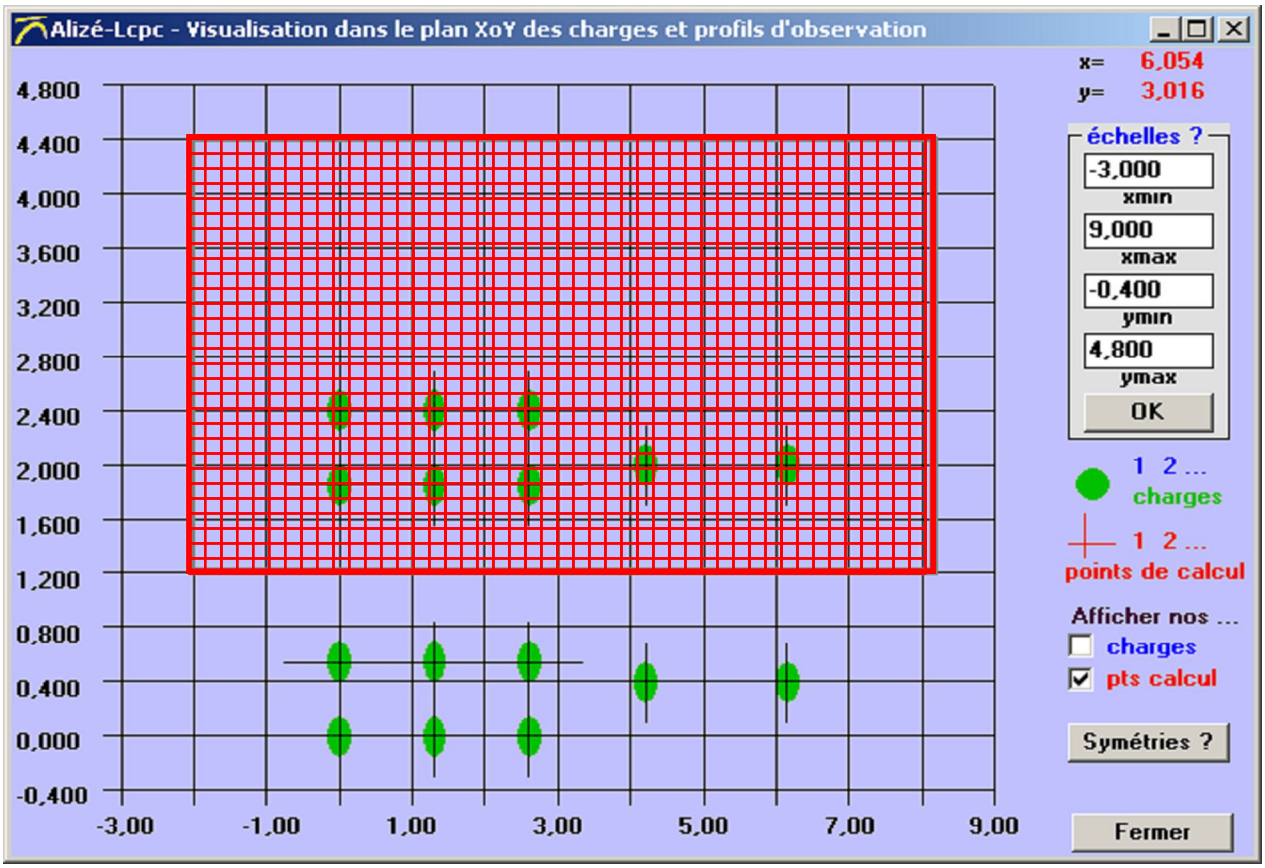


Figure 6.6 : Lancement du calcul Grille-séca. Visualisation de la grille de rectangulaire définissant l'ensemble des profils verticaux de points de calcul (exemple)

7 Alizé-mécanique : résultats des calculs

7.1- Résultats des calculs de type standard

Les résultats des calculs réalisés selon le mode standard sont présentés sur la feuille Résultats des calculs mécaniques. Cette feuille s'ouvre automatiquement lorsque s'achèvent les calculs mécaniques. Il est possible d'effectuer l'impression de tout ou partie des résultats, de même que de réaliser leur enregistrement sur fichier.

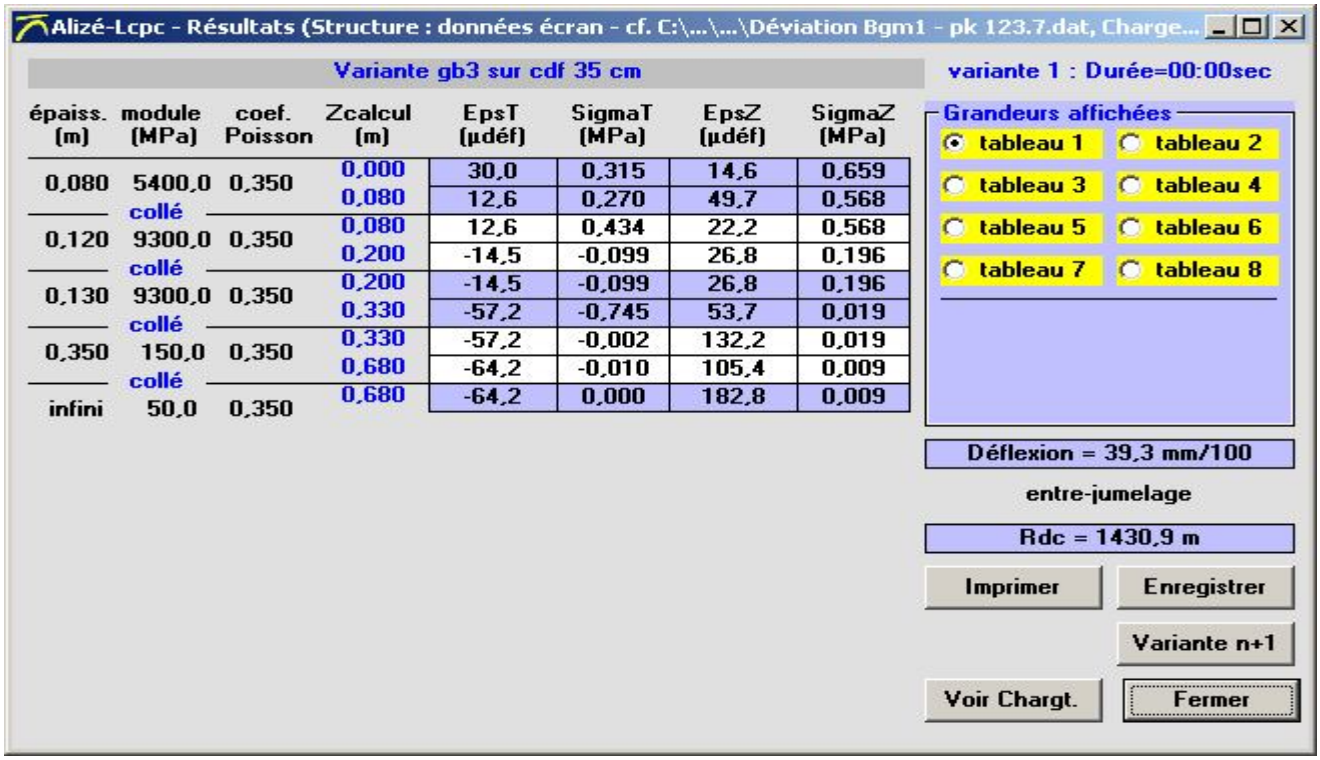
Ecran de résultats :
Cet écran se compose principalement :

- d'un rappel de la structure utilisée pour le calcul. L'identifiant du chargement utilisé pour le calcul est également rappelé (ligne d'entête).
- de 8 tableaux, affichables un à un, présentant les résultats suivants :

Tableau 1 : Déformations et contraintes aux points de calcul. A chaque niveau de calcul, valeur minimale de la déformation (EpsT) et de la contrainte (SigmaT) principale mineure dans le plan horizontal XoY, et valeur maximale de la déformation (EpsZ) et de la contrainte (SigmaZ) selon ZZ .
Dans les applications courantes de dimensionnement, ce tableau synthétise les résultats directement utilisés pour le dimensionnement de la structure. Un exemple de tableau 1 de résultats est présenté sur la figure 7.1.

Tableau 2 : Déformations et contraintes aux points de calcul. Localisation et orientation des valeurs minimales EpsT et SigmaT dans le plan XoY, et des valeurs maximales EpsZ et SigmaZ selon ZZ, valeurs fournies par le tableau 1. Les notations utilisées sont les suivantes :
dans le cas de calcul avec la charge de référence : R= axe roue, J=axe jumelage, m= direction non orientée XX ni YY (rotation de contrainte), cf. tableau 8.
dans le cas d'un chargement spécial : Pk= profil de calcul vertical n°k, m= direction non orientée XX ni YY (rotation de contrainte), cf. tableau 8.

Tableau 3 : Déformations selon XX, YY et ZZ, à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné (cf. choix du profil affiché à l'aide du curseur Profil vertical affiché).



épaiss. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdéf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdéf)	SigmaZ (MPa)
0,080	5400,0	0,350	0,000	30,0	0,315	14,6	0,659
	collé		0,080	12,6	0,270	49,7	0,568
0,120	9300,0	0,350	0,080	12,6	0,434	22,2	0,568
	collé		0,200	-14,5	-0,099	26,8	0,196
0,130	9300,0	0,350	0,200	-14,5	-0,099	26,8	0,196
	collé		0,330	-57,2	-0,745	53,7	0,019
0,350	150,0	0,350	0,330	-57,2	-0,002	132,2	0,019
	collé		0,680	-64,2	-0,010	105,4	0,009
infini	50,0	0,350	0,680	-64,2	0,000	182,8	0,009

Figure 7.1 : Ecran principal d'affichage des résultats du calcul mécanique

Tableau 4 : Contraintes selon XX, YY et ZZ, à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné.

Tableau 5 : Déformations de cisaillement XY, YZ et ZX, à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné.

Tableau 6 : Contraintes de cisaillement XY, YZ et ZX, à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné.

Tableau 7 : Déformations principales majeures et mineures dans le plan XoY, et angle de rotation avec l'axe XX. Valeurs calculées à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné.

Tableau 8 : Contraintes principales majeures et mineures dans le plan XoY, et angle de rotation avec l'axe XX. Valeurs calculées à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné.

- Les valeurs des déflexions calculées à la surface de la chaussée aux points de calcul sont également présentées. Le curseur Profil vertical permet de sélectionner le profil à afficher.
- Dans le cas de la charge de référence, la valeur du rayon de courbure est également calculée dans l'axe de la roue ou dans l'axe du jumelage, suivant la nature de la charge de référence.

Enchaînement des calculs en cas de variantes
Lorsque l'étude en cours comporte des variantes, les commandes Variante n+1 et Variante n-1 de l'écran Résultats des calculs permettent d'enchaîner directement les calculs pour chacune des variantes, et de porter successivement à l'écran leurs résultats.

De plus, la commande Tracer de l'écran Résultats des calculs permet de tracer à l'écran les courbes d'évolution des principaux résultats de calcul, en fonction du no de variante, ou en fonction de la valeur du paramètre ou de l'un des paramètres définissant les différentes variantes de calcul (cf. figure 7.2 et 7.3. Il est alors possible de demander l'impression de ces courbes de variations, ou de les enregistrer sur fichier au format texte (extension ***-var.res).

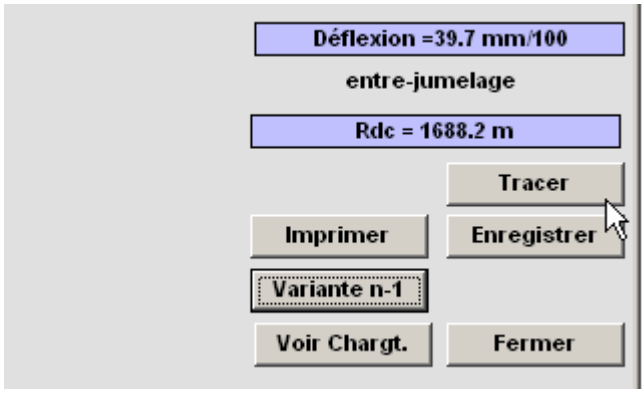


Figure 7.2 : Ecran principal d'affichage des résultats du calcul mécanique
Cas des calculs avec variantes, commande pour le tracer des courbes d'évolution des principaux résultats des calculs en fonction du no de variante ou du (des) valeur(s) de paramètres définissant les variantes

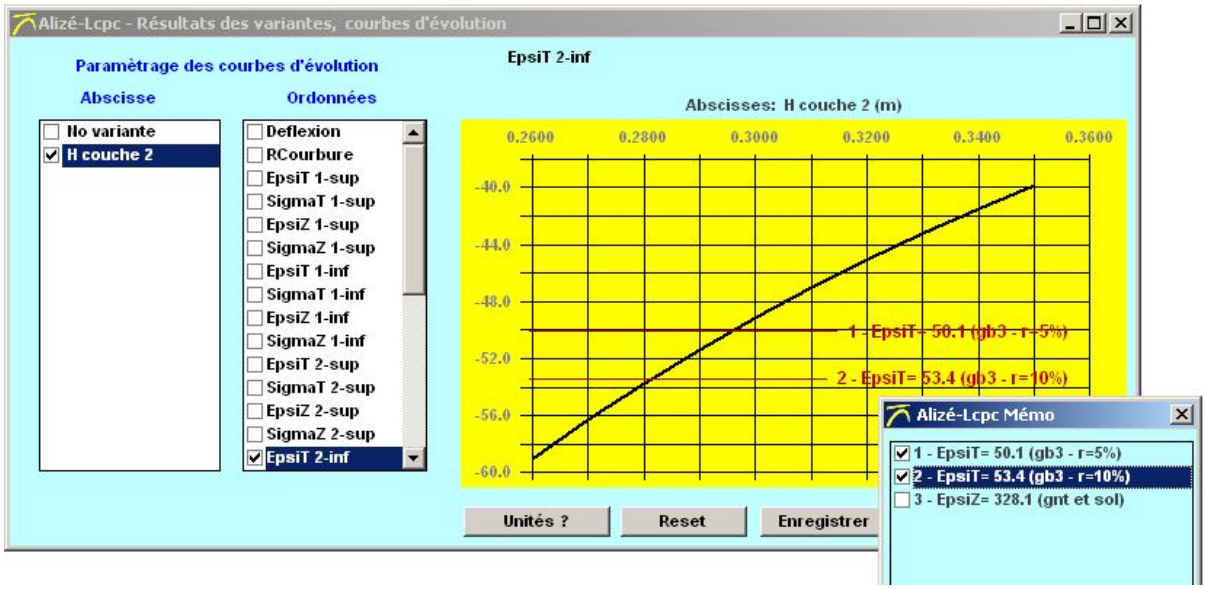


Figure 7.3 : Ecran Résultats des variantes, courbes d'évolution. Exemple de tracer des courbes de variations des principaux résultats des calculs en fonction du no de variante ou du (des) valeur(s) de paramètres définissant les variantes

Impression de tout ou partie des résultats de calcul

La commande Imprimer de la feuille Résultats des calculs ouvre une boite de dialogue permettant le choix des tableaux de résultats à imprimer, puis des options d'impression selon le standard Windows.

Il est possible de demander l'impression, sur le même document, des résultats de calculs de valeurs admissibles (cf. partie 8) éventuellement réalisés préalablement au lancement du calcul Alizé-mécanique. Les cases à cocher de la feuille Alizé-Lcpc Mémo, qui s'ouvre alors simulatanément à la feuille Résulats des calculs, permet de sélectionner les calculs de valeurs admissibles dont l'impression des résultats est demandée.

En situation de calcul comportant des variantes, deux modes d'impression des résultats sont possibles :

- Impression page par page. Cette option permet l'impression, sur une même page, des résultats de plusieurs variantes de calcul successives. La sortie des feuilles sur l'imprimante ne s'effectue alors que si l'une des 2 conditions suivantes est vérifiée: page complètement remplie, ou fermeture de la feuille Résultats des calculs. Le choix de cette option conduit, en général, à une sortie différée des feuilles sur l'imprimante.
- Impression directe. Dans ce cas la commande Imprimer déclenche directement l'impression des résultats de la variante affichée à l'écran, sans attendre que la page soit éventuellement complétée par les résultats d'une variante ultérieure.

Le choix entre ces deux options d'impression des calculs comportant des variantes s'effectue par la commande Configurer Alizé/Personnaliser cadre Mode d'impression des variantes, la barre de menu principal (cf. figure 5.3).

La figure 7.4 présente un exemple d'impression des résultats de calculs Alizé-mécanique.

Enregistrement sur fichier des résultats
La commande Enregistrer de la feuille Résultats des calculs permet l'enregistrement sur fichier des tableaux de résultats. Une boite de dialogue permet le choix des tableaux de résultats à enregistrer, et le choix du séparateur pour le formatage des données.

Dans le cas où des calculs de valeurs admissibles ont été effectués préalablement au lancement du calcul Alizé-mécanique, il est également possible de demander l'enregistrement de certains ou tous ces calculs sur le même fichier, à la suite des résultats du calcul Alizé. La procédure est identique à celle décrite dans ce qui précède pour l'impression des résultats de calcul.

Alizé-Lcpc - Dimensionnement des structures de chaussées
selon la méthode rationnelle Lcpc-Sétra

Signalement du calcul :
données Structure en saisie écran :
origine fichier : C:\...\...\Az32-bib dat1\Rcd-béton SE1.dat
titre de l'étude : Rocade SE voie VL sortie PK12.325 - solution BC5g

données Chargement :
jumelage standard de 65 kN
pression verticale : 0.6620 MPa
rayon de contact : 0.1250 m
entraxe jumelage : 0.3750 m

unités : m, MN et MPa ; déformations en µdéf ; déflexions en mm/100
notations :
X=axe tranversal Y=axe longitudinal Z=axe vertical
R=axe vertical roue J=axe vertical entre-jumelage

Tableau 1+2 (synthèse) :

tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et
compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

	niveau calcul	EpsilonT horizontale	SigmaT	EpsilonZ horizontale	SigmaZ verticale	verticale
			surface (z=0.000)			
h= 0.040 m	0.000m	27.2 X-R	0.264 X-J		42.6 Z-R	0.659 Z-R
E= 5400.0 MPa						
nu= 0.350	0.040m	19.3 X-R	0.187 X-J		50.4 Z-R	0.640 Z-R
			collé (z=0.040m)			
h= 0.190 m	0.040m	19.3 X-R	0.997 X-J		0.7 Z-R	0.640 Z-R
E= 35000.0 MPa						
nu= 0.250	0.230m	-31.4 Y-J		-1.342 Y-J	21.2 Z-R	0.128 Z-R
			glissant (z=0.230m)			
h= 0.180 m	0.230m	20.2 X-R	0.603 X-J		-9.9 Z-R	0.128 Z-R
E= 20000.0 MPa						
nu= 0.250	0.410m	-25.6 Y-J		-0.646 Y-J	15.6 Z-J	0.014 Z-J
			collé (z=0.410m)			
h= 0.350 m	0.410m	-25.6 Y-J		0.002 Y-R	82.7 Z-J	0.014 Z-J
E= 150.0 MPa						
nu= 0.350	0.760m	-46.6 Y-J		-0.006 Y-J	81.9 Z-J	0.008 Z-J
			collé (z=0.760m)			
h infini	0.760m	-46.6 Y-J		0.001 Y-R	148.4 Z-J	0.008 Z-J
E= 50.0 MPa						
nu= 0.350						

Déflexion maximale = 36.2 mm/100 (entre-jumelage)
Rayon de courbure = 3075.6 m (entre-jumelage)

Figure 7.4 : Résultats d'un calcul Alizé-mécanique (exemple)

7.2- Résultats des calculs de type Grille-séca

L'achèvement du calcul Alizé de type Grille-séca ouvre une fenêtre Résultats.

La description en termes de géométrie, de paramètres mécaniques (module d'Young et coefficient de Poisson) et de type d'interface de la structure est rappelée. La commande Voir Chargt permet de visualiser le chargement (charge de référence ou charge spéciale) utilisé pour les calculs.

Trois modes de présentation des résultats des calculs sont proposés (cf. figure 7.5) :

- présentation sous forme de profils de résultats ;
- présentation sous la forme de surfaces d'isovaleurs 2D et 3D ;
- enregistrement sur fichier pour exploitation indépendante à l'aide d'un tableur-grapheur approprié.

Outre les résultats des calculs Grille-séca en termes de bassins de déflexions, de contraintes et de déformations créés dans la structure de chaussée par la charge considérée (charge de référence ou chargement spécial), les résultats peuvent également être présentés en termes de dommages provoqués dans les différents matériaux par cette charge. Si cette seconde forme de présentation des résultats est demandée, les paramètres nécessaires aux calculs des dommages sont définis au moyen de la commande Paramètres dommage de la fenêtre Résultats (figure 7.5). La mise en œuvre de l'option Calcul des dommages est détaillée plus bas, cf. §7.3).

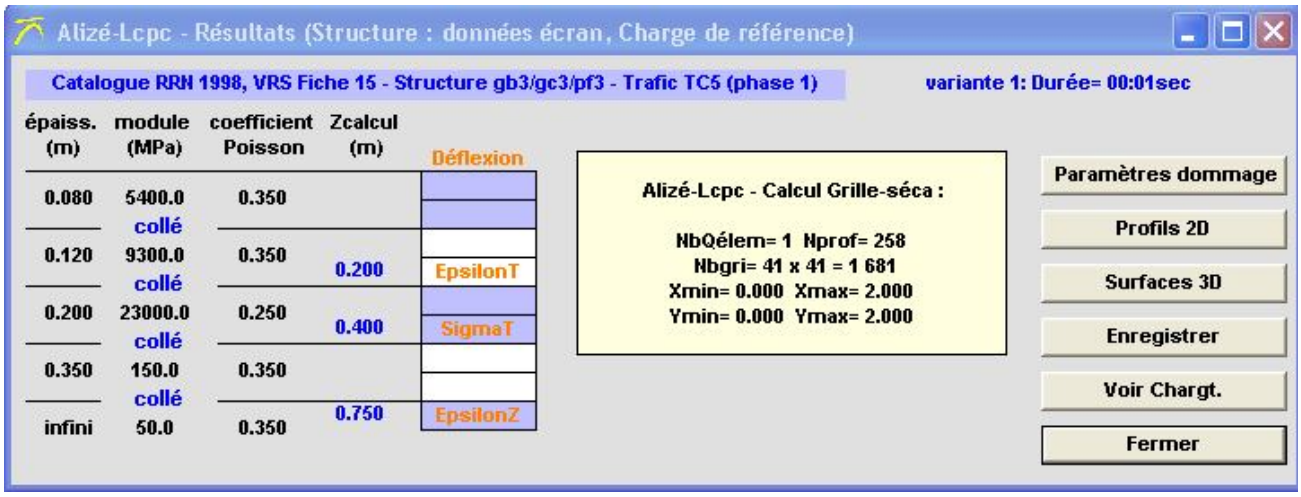


Figure 7.5 : Résultats d'un calcul Grille-séca, choix du mode de visualisation des résultats

Présentation des résultats sous forme de profils de résultats
Ce mode de visualisation est activé par la commande Profils 2D de l'écran Résultats. Il ouvre l'écran Calcul Grille-séca - profils de résultats selon XX, YY ou pq. Un grapheur 2D intégré à la fenêtre permet la représentation des paramètres spécifiés selon les axes XX ou YY (cf. figures 7.6 et 7.7).

La représentation dans le diagramme p, q ou EpsilonD, EpsilonV des chemins de contraintes ou de déformations supportés par les différents matériaux sous l'effet du chargement, est également possible. Il faudra alors avoir spécifié, pour ces matériaux et niveaux de calcul, l'un des paramètres SigmaT, EpsilonT, SigmaZ ou EpsilonZ (cf. §6.3).

La commande Valeurs Min-max établit un tableau comportant, pour chaque paramètre calculé (cf. §6.3), les valeurs minimales et maximales obtenues, ainsi que la localisation des ces valeurs extrémales (figure 7.6).

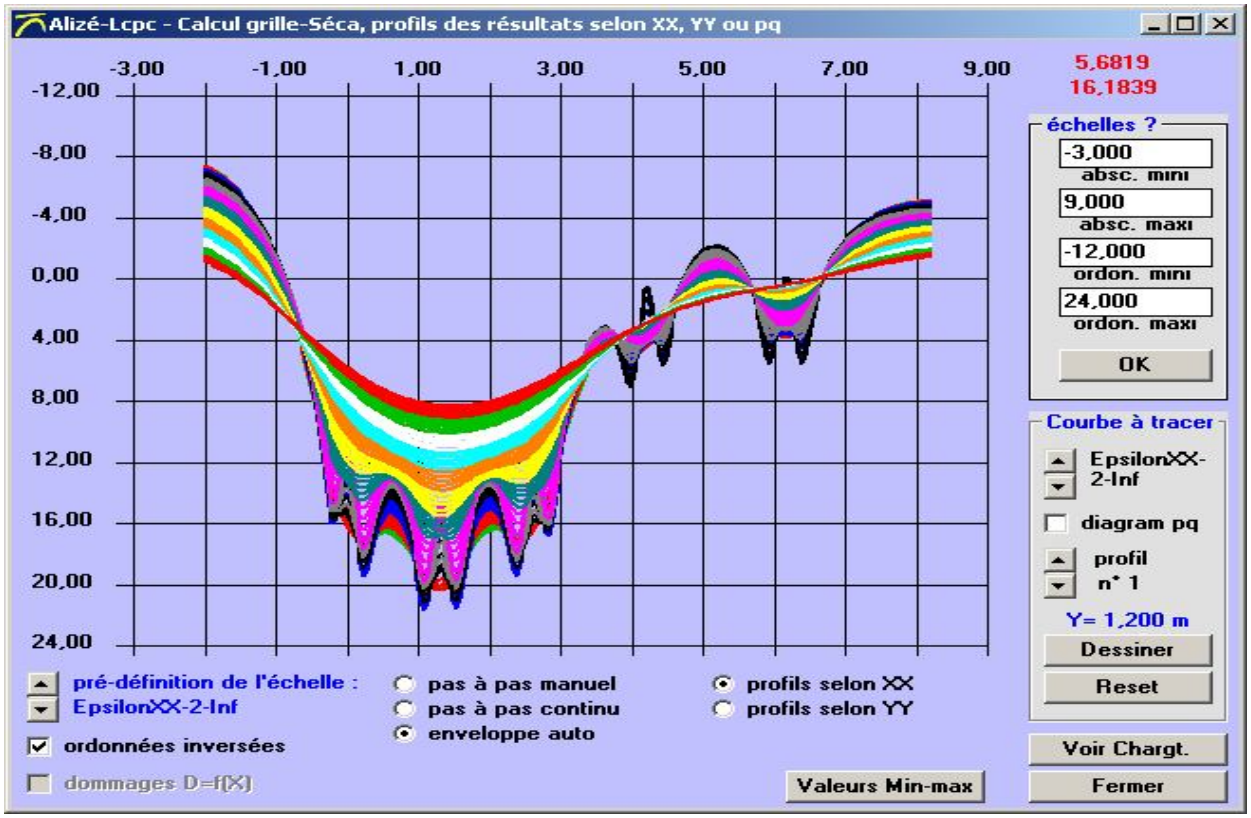


Figure 7.6 : Résultats d'un calcul Grille-séca, exemple de visualisation des résultats selon le mode Profils 2D, cas de profils horizontaux de résultats

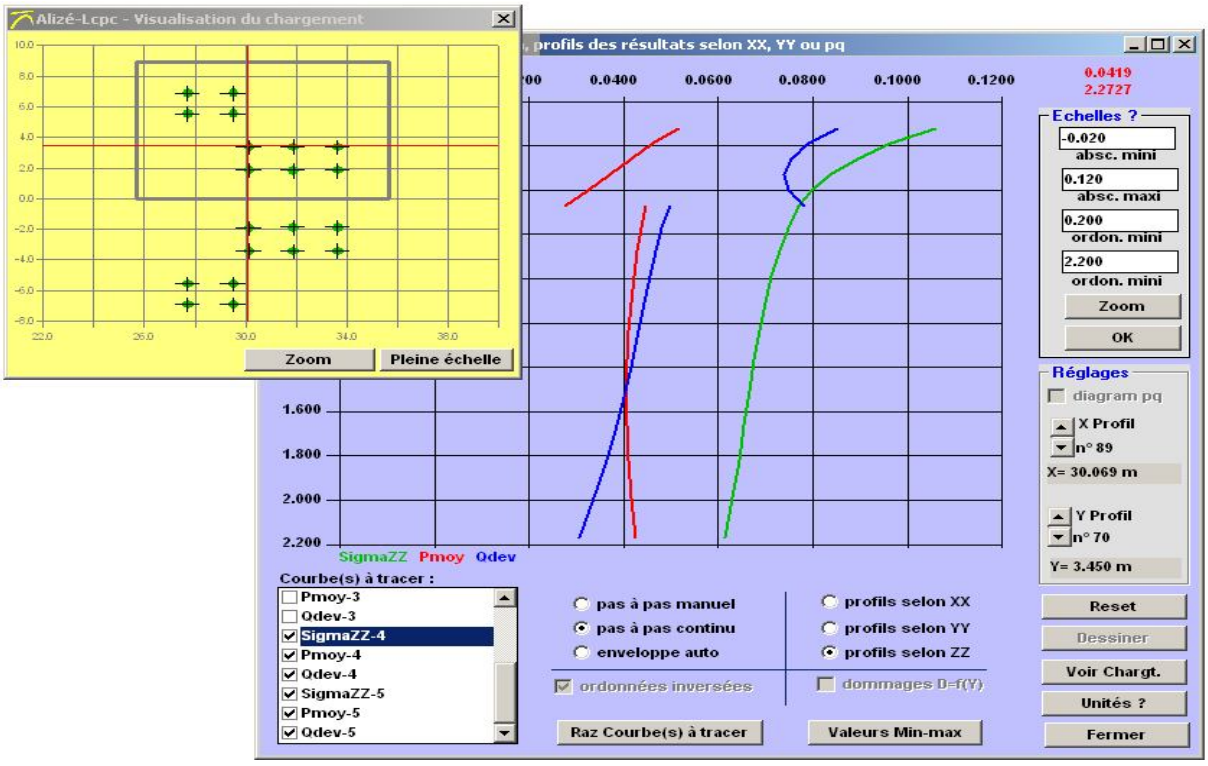


Figure 7.7 : Résultats d'un calcul Grille-séca, exemple de visualisation des résultats selon le mode Profils 2D, cas de profils verticaux de résultats

L'utilisateur est guidé dans la mise en œuvre du grapheur, par un ensemble d'aides contextuelles et d'avertissements très détaillés.

Présentation des résultats sous forme de Surfaces d'isovaleurs 2D et 3D
Ce mode de visualisation est activé par la commande Surfaces 3D de l'écran Résultats. Il ouvre l'écran Visualisation 2D et 3D des résultats de calculs mécaniques.

Un grapheur 2D-3D intégré permet la visualisation sous formes de cartes d'isovaleurs en couleur, des résultats de calcul (cf. figure 7.8). Le plan de référence pour l'établissement des cartes est obligatoirement le plan horizontal XoY. Pour basculer automatiquement de la représentation 2D à la représentation 3D, l'utilisateur utilisera les boutons d'option.

Un click sur le bouton droit de la souris ouvre une boite de dialogue permettant de définir des options personnalisées de visualisation (en langue anglaise).

La capture des courbes et surfaces de résultats affichées à l'écran, pour insertion en tant qu'image dans les applications sous Windows de Microsoft Corporation de traitement de texte et d'images, se fait via les touches Alt+Imp.écr. L'insertion dans ces applications sous Windows s'effectue par la commande Edition/Collage spécial proposée en général au menu principal de ces applications.

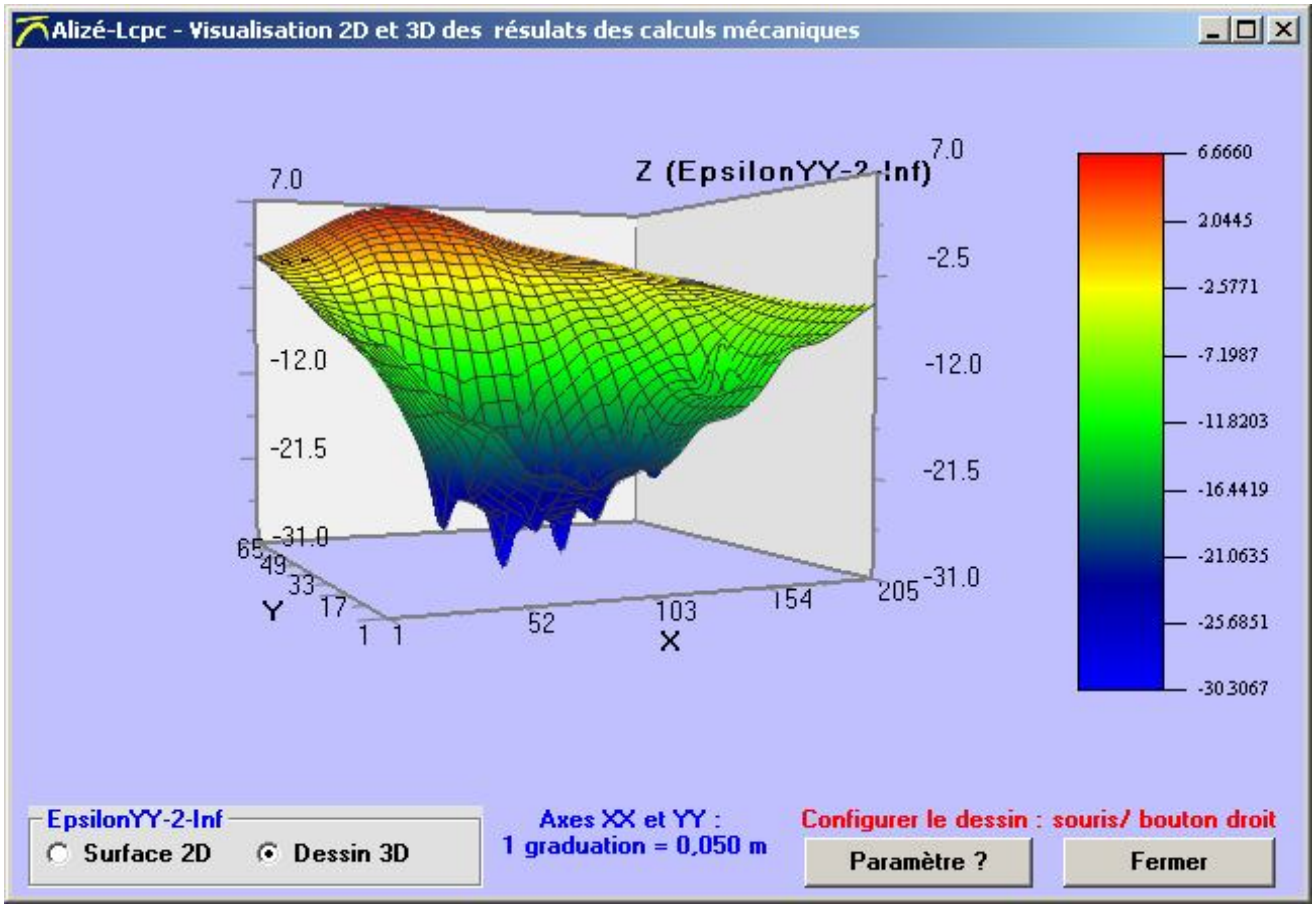


Figure 7.8 : Résultats d'un calcul Grille-séca, exemple de visualisation des résultats selon le mode Surfaces d'isovaleurs 2D et 3D

Enregistrement sur fichier des résultats des calculs Grille-séca
En situation de calcul Grille-séca, la commande Enregistrer de la fenêtre Résultats des calculs Alizé déclenche l'ouverture de la fenêtre Calculs Grille-séca, enregistrement sur fichiers (cf. figure 7.9).

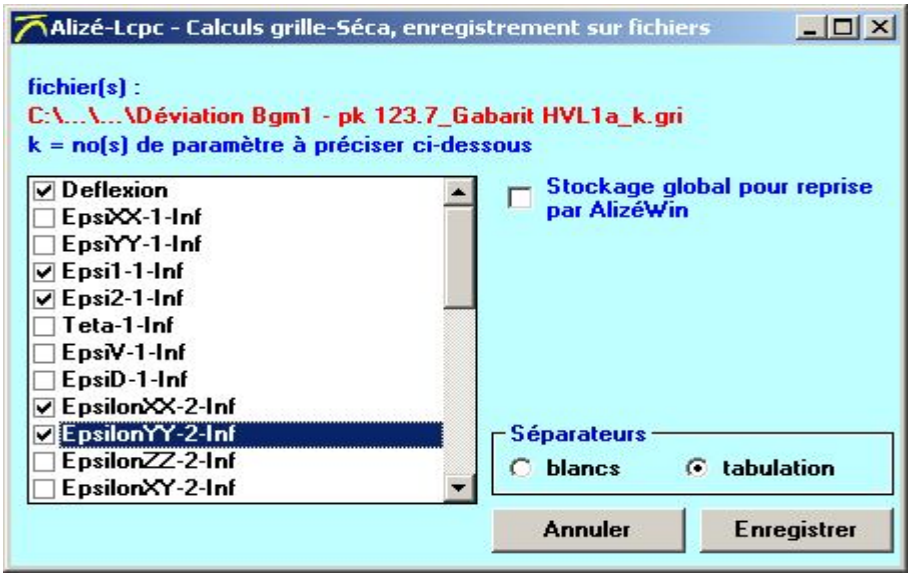


Figure 7.9 : Résultats d'un calcul Grille-séca, boite de dialogue pour l'enregistrement sur fichiers de résultats

7.3- Résultats des calculs de type Grille-séca – Profils transversaux de dommage

La présentation des résultats d'un calcul Grille-séca sous la forme de profils transversaux de dommages créés dans les différentes couches de matériaux par la charge (charge de référence ou charge spéciale) repose sur les données et les hypothèses suivantes :

- Chargement :
  - La direction de déplacement de la charge à la surface de la chaussée est obligatoirement l'axe des abscisses XX ;
  - La charge possède obligatoirement une symétrie selon l'axe longitudinal XX (figure 7.10).

- Expression générale de l'endommagement.
  L'endommagement créé par la charge peut-être calculé dans les couches de chaussées justifiant :
  d'un critère d'endommagement en fatigue par traction-flexion (matériaux traités), comme exposé en annexe A1. Le paramètre gouvernant l'endommagement est alors la déformation horizontale principale mineure (matériaux hydrocarbonés) notée Epsi2, ou la contrainte horizontale principale mineure (matériaux cimentaire) notée Sigma2.
  ou d'un critère d'endommagement par plastification (orniérage des matériaux non traités et des sols). Le paramètre gouvernant l'endommagement est alors la déformation verticale mineure, notée EpsiZZ.
  Il est également possible de calculer le dommage associé à toute autre composante du tenseur des contraintes ou des déformations. Cependant, selon le modèle de dimensionnement rationnel Lcpc-Sétra, seuls les dommages associés aux grandeurs Epsi2, Sigma2 et EpsiZZ représentent l'endommagement maximal supporté par le matériau au niveau de calcul considéré.

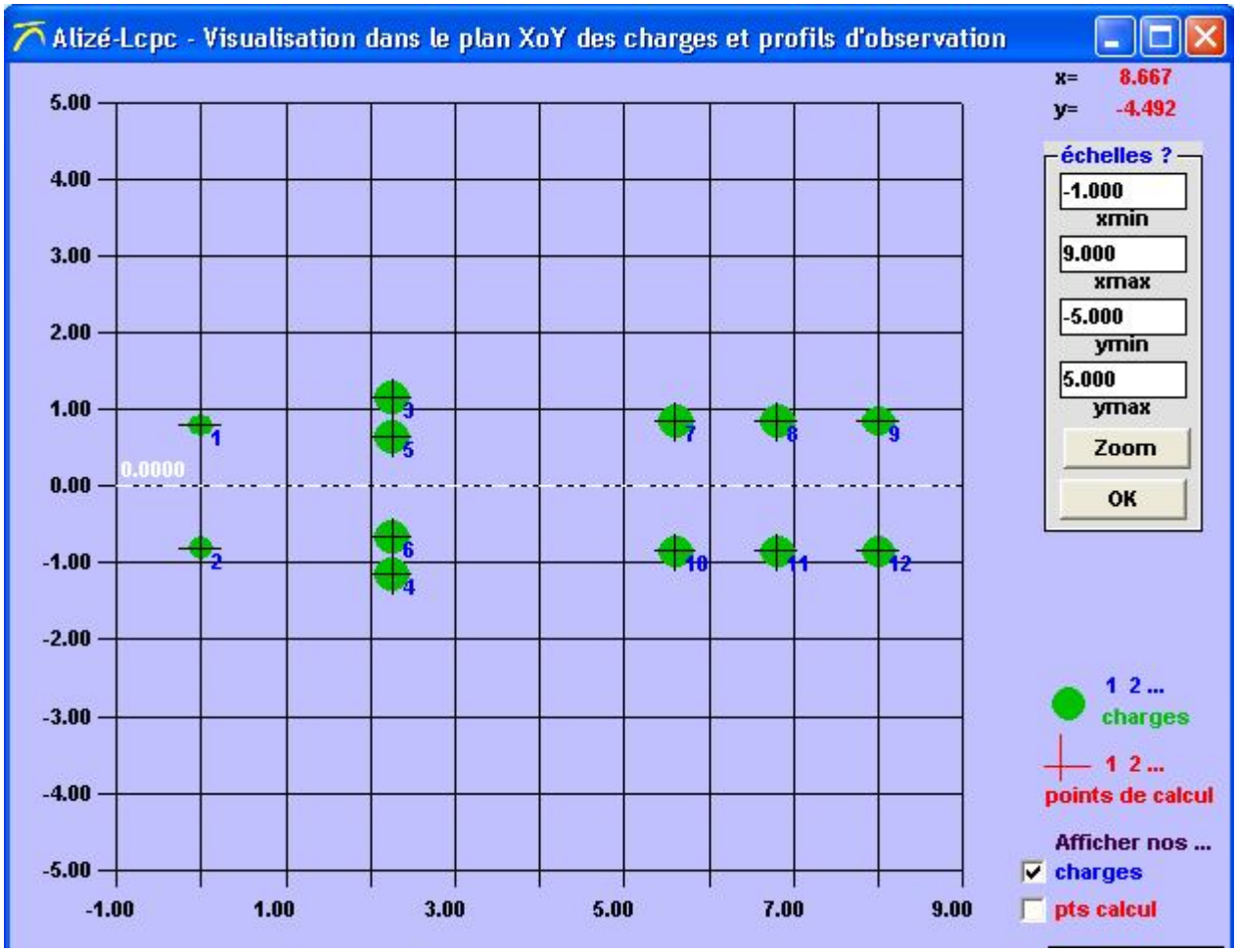


Figure 7.10 : Données Chargement pour un calcul Grille-séca avec calcul de l'endommagement (exemple). direction obligatoire de circulation = axe longitudinal XX symétrie longitudinale obligatoire selon axe XX

L'endommagement est calculé par intégration des dommages élémentaires - au sens de la loi de Miner – associés au paramètre sélectionné (Epsi2 ou Sigma2 ou EpsiZZ), le long de chacune des génératrices longitudinales de la grille de calcul Grille-séca. La figure 7.11 présente l'expression détaillée de l'intégrale de la loi de cumul de Miner. Pour un matériau, un niveau de calcul et un paramètre Epsi2, Sigma2 ou EpsiZZ, le dommage créé par la charge sera donc représenté par un profil transversal Dommage = f(Y) agrégeant les dommages calculés sur chaque génératrice longitudinale.

-

Le balayage transversal de la charge est pris en compte, le cas échéant, en faisant l'hypothèse d'une distribution gaussienne normale-centrée des excentrements des passages de la charge, par rapport à l'axe de déplacement moyen XX. L'endommagement résultant de cette distribution transversale est calculé en adoptant à nouveau le principe d'additivité des dommages (loi de Miner).

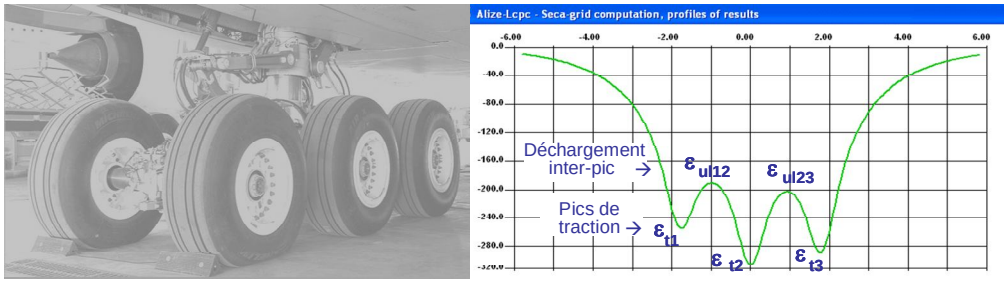
-

Données nécessaires au calcul de l'endommagement.

Outre l'ensemble des données de structures et de chargement nécessaires aux calculs Grille-séca, le calcul des endommagements nécessite les données supplémentaires suivantes, dont la saisie s'effectue au moyen de la commande Paramètres dommage de la fenêtre Résultats (figure 7.12).

-

- Modèle multipic fixant le mode d'intégration des dommages élémentaires selon les axes longitudinaux XX : seul le modèle Multipic-Miner objet de la figure 7.11 est disponible dans la présente version V1.3.0 du programme Alizé Route.
- Paramètres de fatigue Valeurs admissibles et pente -1/b. Le calcul de la valeur admissible prend notamment en compte le trafic cumulé correspondant au nombre total de passages de la charge considérée, sur toute la durée de service de la chaussée. Ce calcul peut s'effectuer à l'aide de la feuille Valeur admissible du programme Alizé (avec CAM = 1), cf. chapitre 8 du présent manuel.
- Balayage transversal de la charge. Il est défini par la largeur de balayage, éventuellement nulle, correspondant à 2 écarts types de la distribution des excentrements de trajectoire par rapport à la trajectoire moyenne (axe longitudinal XX), en adoptant l'hypothèse d'une distribution gaussienne (normale-centrée).



Exemple : chaussée aéronautique sous bogie 6 roues - profil des déformations de traction Epsi2 à la base de la couche de base (GB3) selon un profil longitudinal PX1

Loi de dommage (matériaux traités, GNT et sols) : $s = K \times N^b$

avec s = contrainte ou déformation réversible (= Sig2, Epsi2 ou EpsiZZ, ou autre grandeur …)

Dommage élémentaire (Miner) : $D_e = \frac{1}{N} = [\frac{s}{K}]^{\alpha}$ avec $\alpha = -1/b$

$$\rightarrow \delta D = \frac{\alpha}{K^{\alpha}} s^{\alpha-1} ds$$

Formulation intégrale de la loi de Miner (intégration continue selon l'axe de déplacement de la charge) :

$$D = \frac{\alpha}{K^{\alpha}} \int_{-\infty}^{+\infty} s^{\alpha-1} pos[\frac{ds(x)}{dx}] dx \quad \text{avec } pos(x) = \begin{vmatrix} x \text{ si } x \geq 0 \\ 0 \text{ si } x < 0 \end{vmatrix}$$

Exemple: dommage créé par un passage de tridem aéronautique
cf. graphe ci-dessus $\varepsilon_{t2}(x) = f(x)$

$$1 \text{ passage} : D_{tridem}^{1pas} = K^{1/b} [\varepsilon_{t1}^{-1/b} + \varepsilon_{t2}^{-1/b} + \varepsilon_{t3}^{-1/b} - \varepsilon_{ul12}^{-1/b} - \varepsilon_{ul23}^{-1/b}]$$

$$N \text{ passages (sans balayage)} : D_{tridem}^{Npas} = N D_{tridem}^{1pas}$$

$$D_{tridem}^{Npas} = \varepsilon_{tadm}^{1/b} [\varepsilon_{t1}^{-1/b} + \varepsilon_{t2}^{-1/b} + \varepsilon_{t3}^{-1/b} - \varepsilon_{ul12}^{-1/b} - \varepsilon_{ul23}^{-1/b}]$$

avec: ε_{tadm} = déformation admissible associée à N passages par la loi de fatigue

Figure 7.11 : Expression du dommage exprimé comme l'intégrale continu de la loi de Miner selon un axe longitudinal de déplacement de la charge

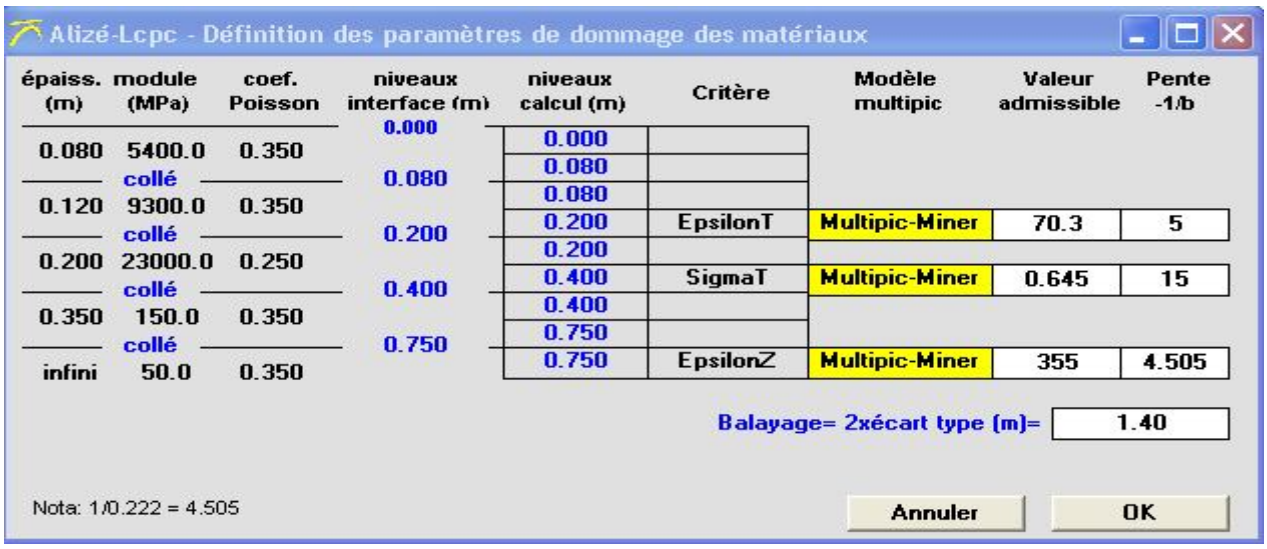


Figure 7.12 : Données complémentaires aux données Grille-séca, nécessaires aux calculs d'endommagement

L'accès aux résultats des calculs Grille-séca option endommagement s'effectue par la commande Profils 2D de l'écran Résultats. Il ouvre l'écran Calcul Grille-séca - profils de résultats selon XX, YY ou pq., dont la présentation détaillée est faite au §7.2. La visualisation des profils de dommages D(Y)=f(Y) selon le demi-axe transversal YY s'effectue en activant la coche Dommage D=f(Y), cf. figure 7.13.

Après sélection des paramètres dont le tracé des profils de dommages D=f(Y) est demandé (cf. menu déroulant Courbe(s) à tracer), l'affichage écran de ces profils s'effectue à l'aide de la commande Dessiner. Pour chaque paramètre sélectionné, les 2 profils transversaux de dommages D=f(Y) - avec et sans balayage transversal - sont reproduits sur le graphique.

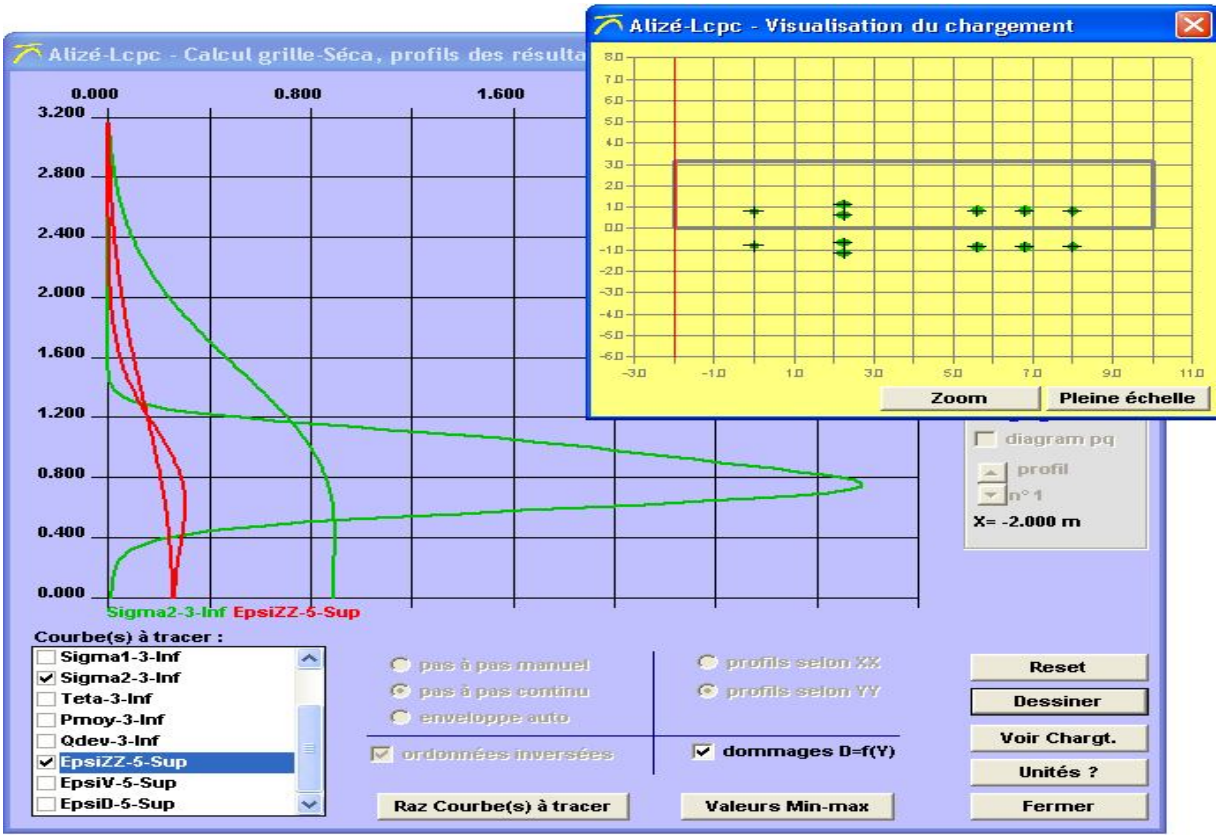


Figure 7.13 : Calculs Grille-séca, option Endommagement – Profils de résultats Dommages D=f(Y)

L'enregistrement sur fichier des résultats des calculs Grille-séca s'effectue à l'aide de la commande Enregistrer de la fenêtre Résultats des calculs Alizé. Cette commande déclenche l'ouverture de la fenêtre Calculs Grille-séca, enregistrement sur fichiers, (cf. §7.2).

8 Alizé-mécanique : calculs des valeurs admissibles

8.1- Utilisation de la feuille Calcul des valeurs admissibles

Alizé-Lcpc intègre une feuille pour le calcul des valeurs admissibles conformément au guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994.

La démarche suivie, les sigles et les notations utilisées, de même que l'expression des différentes lois de valeurs admissibles sont celles de ce guide technique, auquel on devra se reporter pour plus de précision. Un exemple de calcul est présenté sur la figure 8.1.

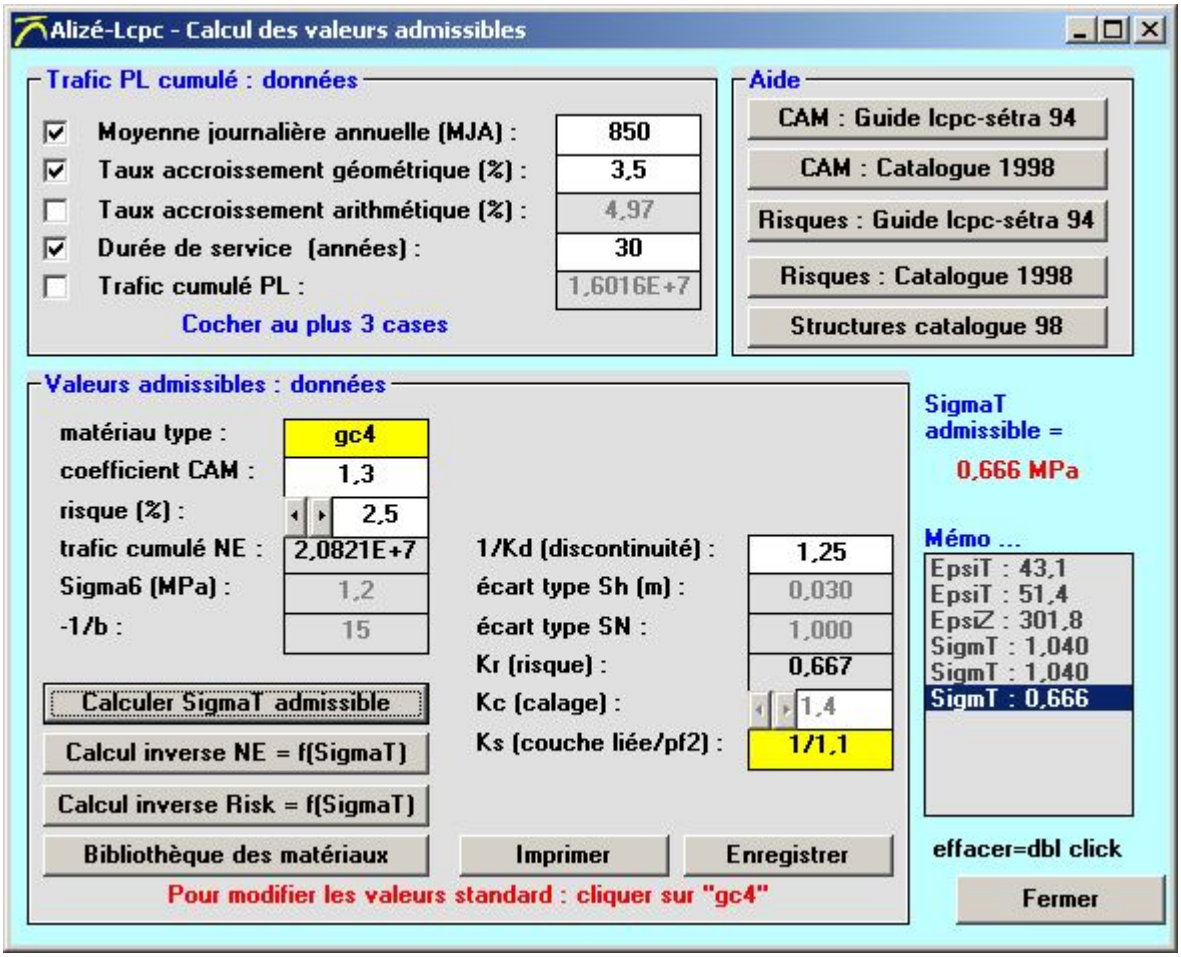

Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles
Trafic PL cumulé : données
Moyenne journalière annuelle (MJA) : 850
Taux accroissement géométrique (%) : 3,5
Taux accroissement arithmétique (%) : 4,97
Durée de service (années) : 30
Trafic cumulé PL : 1,6016E+7
Cocher au plus 3 cases
Aide
CAM : Guide lcpc-sétra 94
CAM : Catalogue 1998
Risques : Guide lcpc-sétra 94
Risques : Catalogue 1998
Structures catalogue 98
Valeurs admissibles : données
matériau type : gc4
coefficient CAM : 1,3
risque (%) : 2,5
trafic cumulé NE : 2,0821E+7
Sigma6 (MPa) : 1,2
-1/b : 15
1/Kd (discontinuité) : 1,25
écart type Sh (m) : 0,030
écart type SN : 1,000
Kr (risque) : 0,667
Kc (calage) : 1,4
Ks (couche liée/pf2) : 1/1,1
Calculer SigmaT admissible
Calcul inverse NE = f(SigmaT)
Calcul inverse Risk = f(SigmaT)
Bibliothèque des matériaux
Imprimer
Enregistrer
Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "gc4"
SigmaT admissible =
0,666 MPa
Mémo ...
EpsiT : 43,1
EpsiT : 51,4
EpsiZ : 301,8
SigmT : 1,040
SigmT : 1,040
SigmT : 0,666
effacer=dbl click
Fermer

Figure 8.1 : Calcul des valeurs admissibles, exemple

La fenêtre Calcul des valeurs admissibles est activée par la commande Valeurs admissibles de la barre de menu principal des fenêtres Définition d'une structure ou Définition d'une charge spéciale.

Les possibilités et commodités de calcul suivantes sont proposées par la feuille Valeurs admissibles :

- Calcul du trafic cumulé poids lourds NPL à partir des données habituelles MJA, taux d'accroissement annuel tg (géométrique) ou ta (arithmétique), et durée de service p ;
- Calcul inverse de 2 des cinq paramètres MJA, ta, tg, p et NPL à partir de la donnée des 3 autres paramètres ;
- Calcul direct des valeurs admissibles à partir des données de trafic, du choix de matériau et de ses paramètres et coefficients caractérisant son comportement en fatigue (matériaux traités) ou à l'orniérage par plastification (matériaux non traités et sols) ;
- Calcul indirect du trafic admissible pour un matériau donné, à partir de la donnée de la sollicitation qu'il supporte et du paramètre risque de calcul, par inversion de la loi de fatigue ;
- Calcul indirect du paramètre risque de calcul, à partir de la donnée de la sollicitation supportée par le matériau et du trafic appliqué (cf. exemple de la figure 8.2) ;
- Consultation de la bibliothèque des matériaux qui rappelle les paramètres de comportement des matériaux standard (matériaux «system») et des matériaux personnels définis par l'utilisateur (matériaux «user») ;
- Consultation des aides extraites du guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994 et du Catalogue 1998 pour le rappel des paramètres suivants :
  - classification du trafic,
  - coefficients d'agressivité du trafic,
  - risque de calcul pour l'établissement des valeurs admissibles ;
- Enfin, consultation de l'ensemble des structures pour le Réseau routier national établies par le Catalogues des structures neuves de 1998.

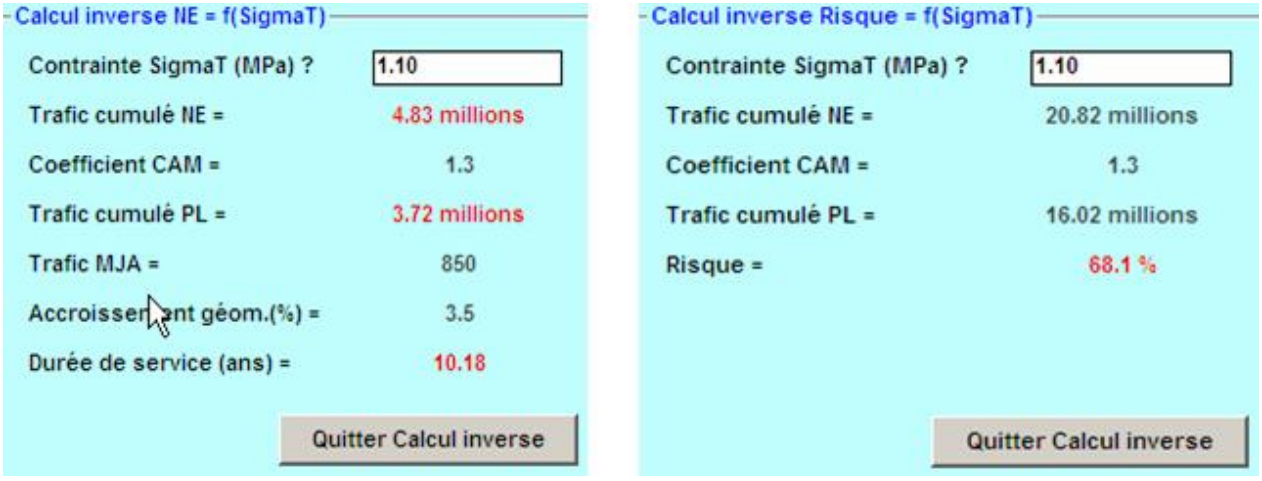


Figure 8.2 : Calcul des valeurs admissibles, exemple de calculs inverses
Durée de service = f(SigmaT,risque) et Risque = f(Sigmat, trafic)

8.2- Précisions concernant la bibliothèque de matériaux Alizé-mécanique

8.2.1- Description de la bibliothèque

La bibliothèque de matériaux du module Alizé-mécanique est appelée à la demande de l'utilisateur, afin d'affecter à un matériau donné les paramètres mécaniques d'un des matériaux consignés dans la bibliothèque, lors :

- de la définition d'une structure. Les paramètres mécaniques concernés sont alors le module d'Young E et le coefficient de Poisson ;
- de la préparation d'un calcul de valeurs admissibles. Les paramètres mécaniques concernés sont alors les paramètres de fatigue.

La bibliothèque Alizé-mécanique est classée en 4 catégories de matériaux : matériaux bitumineux, matériaux traités aux liants hydrauliques, béton, gnt et sols. Chaque catégorie comprend :

- les matériaux standard dont les caractéristiques mécaniques sont définies par le guide technique Conception et dimensionnement de chaussées de 1994. Ces matériaux standard sont repérables par leur statut « system », leurs différents paramètres ne sont pas modifiables ;
- et le cas échéant les matériaux personnels introduits dans la bibliothèque par l'utilisateur. Ces matériaux utilisateur sont repérables par leur statut « user », leurs différents paramètres sont modifiables à la demande de l'utilisateur, et il est possible de supprimer un tel matériau de la bibliothèque.

Lors de la sélection d'un matériau bitumineux, il convient en général de régler la température afin de se placer dans une situation thermique représentative de celle du matériau dans la structure de chaussée en service. Les caractéristiques introduites dans la bibliothèque pour les matériaux bitumineux comportent en effet la description de leur susceptibilité thermique, définissant point par point une relation module d'Young = f(température) à fréquence fixée (10 Hz en conformité avec la démarche rationnelle Lcpc-Sétra). Un curseur spécifique permet de définir la température entre -15°C et +45 °C.

8.2.2- Utilisation de la bibliothèque

Il est possible de consulter, et de modifier, la bibliothèque en actionnant la commande Bibliothèque/Alizé de la barre de menu principal dans la feuille Alizé-mécanique Définition d'une structure (figure 8.3).

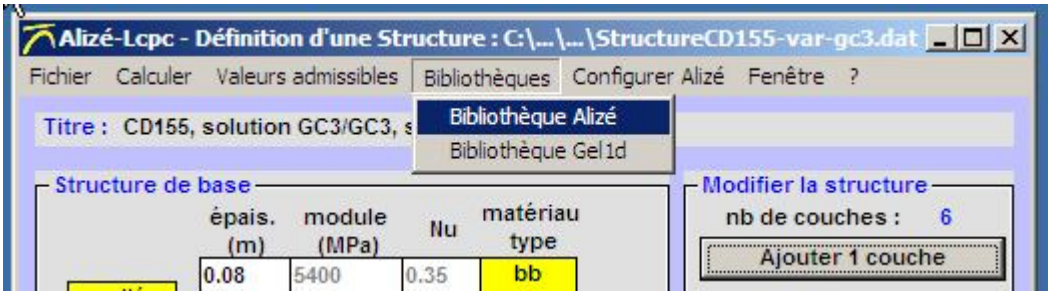


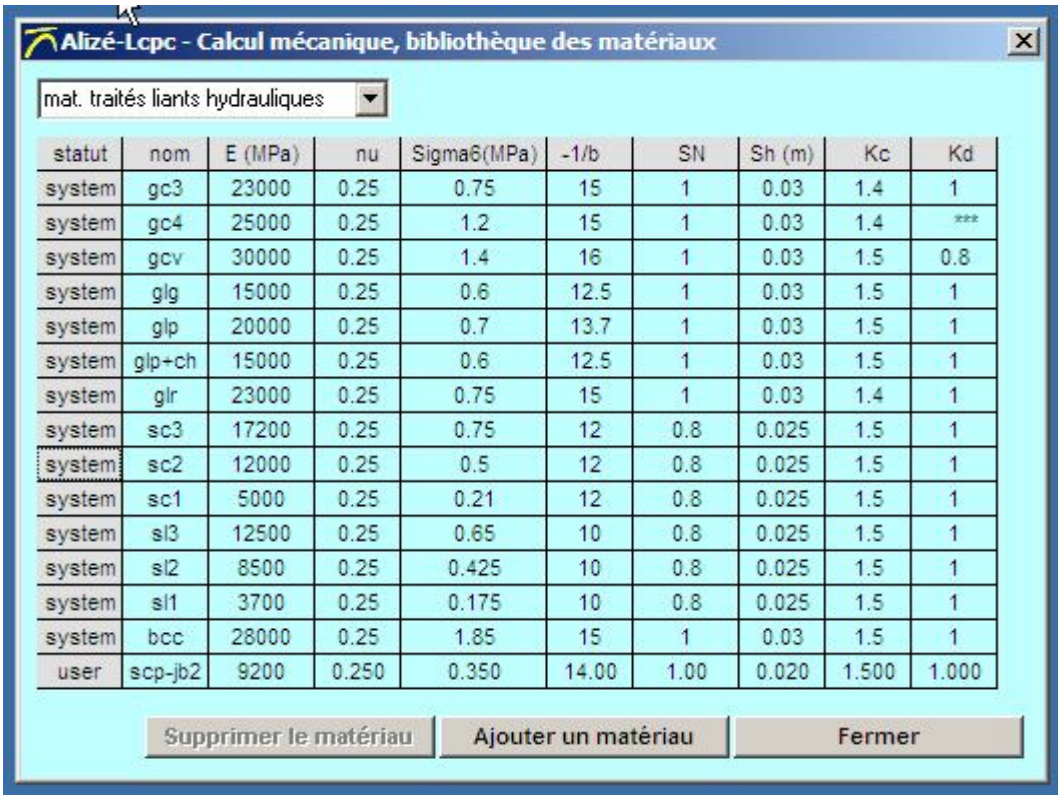
Figure 8.3 : Commande pour la consultation de la bibliothèque Alizé-mécanique

Cette commande ouvre la feuille Calcul mécanique – bibliothèque des matériaux, qui affiche à l'écran, pour la catégorie de matériaux sélectionnée, la liste des matériaux standard et utilisateur, ainsi que l'ensemble des paramètres de comportement (élasticité et fatigue). Pour la catégorie des matériaux traités aux liants hydrauliques, un exemple est présenté sur la figure 8.4.

L'introduction dans la bibliothèque d'un matériau personnel de statut « user » se fait en actionnant la commande Ajouter un matériau. L'utilisateur doit alors renseigner les champs permettant d'affecter à ce nouveau matériau un sigle, ses paramètres d'élasticité module d'Young et coefficient de Poisson, enfin les paramètres descriptifs de son comportement en fatigue, voire pour les matériaux hydrocarbonés une courbe de susceptibilité thermique E = f(température) définie par deux points au minimum.

Il sera par la suite possible de modifier le sigle et/ou les paramètres attribués à un matériau personnel : ceci s'effectue en sélectionnant par un click la ligne correspondant au matériau à modifier, qui devient alors surlignée.

Il sera également possible de supprimer de la bibliothèque Alizé-mécanique un matériau personnel donné, à l'aide de la commande Supprimer le matériau de la feuille Calcul mécanique – bibliothèque des matériaux.



statut	nom	E (MPa)	nu	Sigma6(MPa)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc	Kd
system	gc3	23000	0.25	0.75	15	1	0.03	1.4	1
system	gc4	25000	0.25	1.2	15	1	0.03	1.4	***
system	gcv	30000	0.25	1.4	16	1	0.03	1.5	0.8
system	glg	15000	0.25	0.6	12.5	1	0.03	1.5	1
system	glp	20000	0.25	0.7	13.7	1	0.03	1.5	1
system	glp+ch	15000	0.25	0.6	12.5	1	0.03	1.5	1
system	glr	23000	0.25	0.75	15	1	0.03	1.4	1
system	sc3	17200	0.25	0.75	12	0.8	0.025	1.5	1
system	sc2	12000	0.25	0.5	12	0.8	0.025	1.5	1
system	sc1	5000	0.25	0.21	12	0.8	0.025	1.5	1
system	sl3	12500	0.25	0.65	10	0.8	0.025	1.5	1
system	sl2	8500	0.25	0.425	10	0.8	0.025	1.5	1
system	sl1	3700	0.25	0.175	10	0.8	0.025	1.5	1
system	bcc	28000	0.25	1.85	15	1	0.03	1.5	1
user	scp-jb2	9200	0.250	0.350	14.00	1.00	0.020	1.500	1.000

Figure 8.4 : Bibliothèque de matériaux Alizé-mécanique, exemple de consultation

9 Alizé-gel : Préparation des données pour les calculs

9.1- Description du problème traité

Le module Alizé-gel représente l'ensemble constitué de la structure de chaussée et du massif support par un modèle multicouche unidimensionnel, composé de couches homogènes d'épaisseur finie.

Dans les problèmes courants de vérification au gel-dégel des chaussées, la justification d'une condition de température constante à la base du modèle se traduit en pratique par une hauteur totale du modèle de plusieurs dizaines de mètres. Ainsi dans la démarche rationnelle Lcpc-Sétra, la base du modèle est fixée à 40 mètres en dessous du niveau du sommet de la partie gélive ou peu gélive de la plate-forme support de chaussée.

Les différentes couches de matériau possèdent une épaisseur constante, et leur extension dans le plan horizontal XoY est supposée infinie. Les paramètres descriptifs de la géométrie et du comportement thermique de chaque couche sont les suivants :

- l'épaisseur H ;
- la masse volumique du matériau ;
- la teneur en eau du matériau ;
- la conductibilité thermique du matériau dans l'état non gelé ;
- la conductibilité thermique du matériau dans l'état gelé.

Le massif constitué de la chaussée et de son massif support est soumis à deux types de conditions thermiques, constituant également des données du problème à résoudre :

- Condition de température initiale s'exprimant sous la forme d'une relation Température = fonction(Profondeur) au temps t=0 ;
- Conditions de températures sur les limites inférieure et supérieure du modèle. Ces conditions aux limites s'expriment sous la forme de deux relations : Température = fonction(Temps) à la base du massif et à la surface de la chaussée. Les conditions aux limites constituent le chargement thermique du modèle.

Le moteur de calcul du module Alizé-gel calcule l'évolution, en fonction du temps, de la température à la surface de la chaussée et aux interfaces entre les différentes couches de la structure de chaussée et de son massif support. Ces résultats sont également exprimés en termes d'évolution avec le temps des quantités de gel aux mêmes niveaux, et de l'indice de gel à la surface de la chaussée. L'indice de gel de surface est lui-même traduit en indice de gel atmosphérique. Dans les études de gel-dégel courantes, ces résultats conduisent à déterminer l'indice de gel atmosphérique (principale inconnue du problème) correspondant à une quantité de gel transmise au sommet de la plate-forme qui est, elle, connue et constitue également l'une des données du problème à résoudre.

Le programme détermine aussi la courbe d'évolution avec le temps de la profondeur du front de gel (surface isotherme à température nulle), ou les courbes d'évolution des fronts de gel en situation de fronts de gel multiples.

Alizé-module gel repose sur un algorithme de résolution par différences finies d'un problème couplé, dont les inconnues sont la température et la vitesse de propagation du (des) front(s) de gel éventuel(s). Il distingue trois zones à comportement thermique distinct :

- La zone non gelée dont l'équilibre thermique découle de l'équation de la chaleur sans terme source ;
- La zone gelée dans laquelle la présence de glace se traduit par des caractéristiques thermiques des matériaux gelés différentes des caractéristiques à l'état non gelé ;
- Le (les) front(s) de gel, surface(s) de séparation ente les zones gelées et non gelées, siège d'une discontinuité du gradient thermique.

Le domaine d'application privilégié d'Alizé-gel est la vérification au gel-dégel des chaussées, qui nécessite la résolution de l'équation de propagation unidirectionnelle de la chaleur dans un massif multicouche en régime bi-phasique gelé – non gelé. Plus généralement, Alizé-gel peut également être utilisé pour déterminer les évolutions avec le temps des températures dans un massif multicouche à partir de conditions de température initiales et aux limites connues, avec ou non développement de températures négatives entraînant le développement d'éventuel(s) front(s) de gel. Par exemple, il peut être utilisé pour la détermination des températures dans les couches de matériaux bitumineux, dans des études concernant le comportement à l'orniérage par fluage de ces matériaux en période chaude.

La création d'une nouvelle structure de chaussée pour le module Alizé-gel est initiée par la commande Fichier/Nouveau/Gel de la barre de menu principal (figure 9.1).

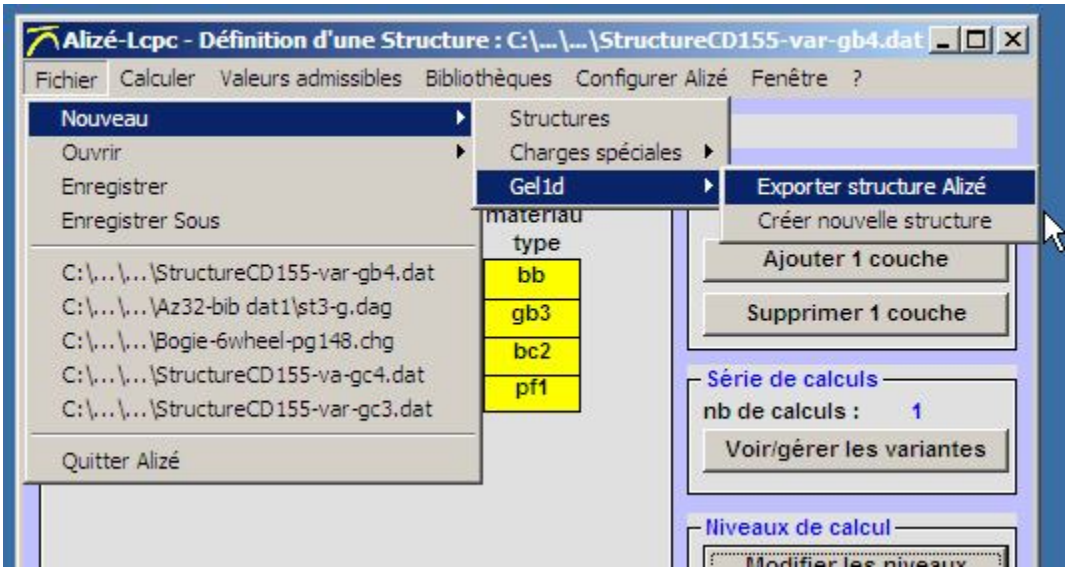


Figure 9.1 : Commande pour la création d'une nouvelle structure pour les calcul Alizé-gel

Deux modes de création d'une structure nouvelle pour le module Alizé-gel sont alors possibles :

1-Cas général :
La commande Fichier/Nouveau/Gel/Créer nouvelle structure de la barre de menu principal ouvre l'écran Module Alizé-gel, définition d'une structure, sur lequel est portée une structure de base tricouche (cf. figure 9.2).

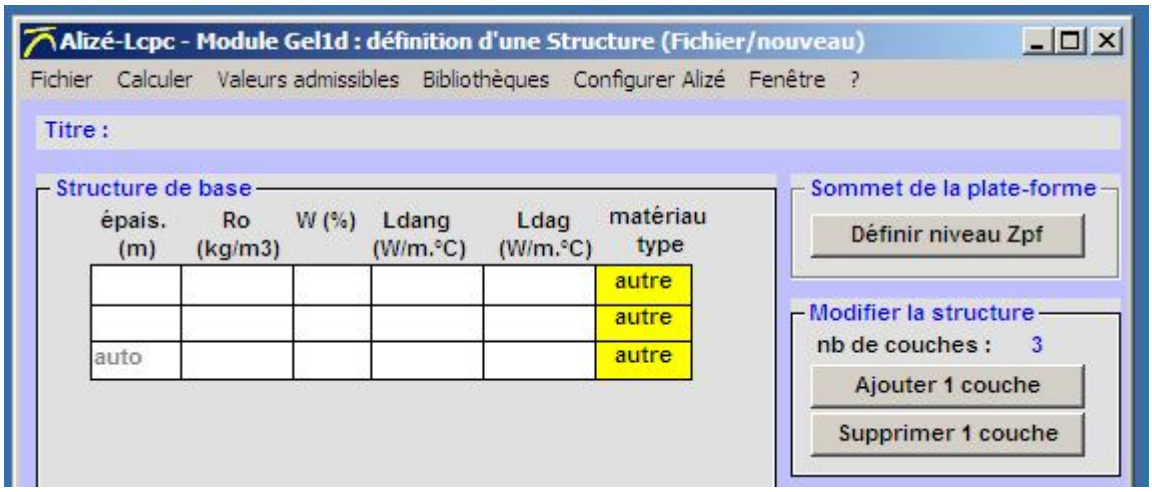


Figure 9.2 : Création d'une nouvelle structure pour le module Alizé-gel

2-Cas où une structure de chaussée pour les calculs Alizé-mécanique a préalablement été définie :
Il est possible d'exporter directement cette structure de chaussée vers le module Alizé-gel (cf. figure 9.3).

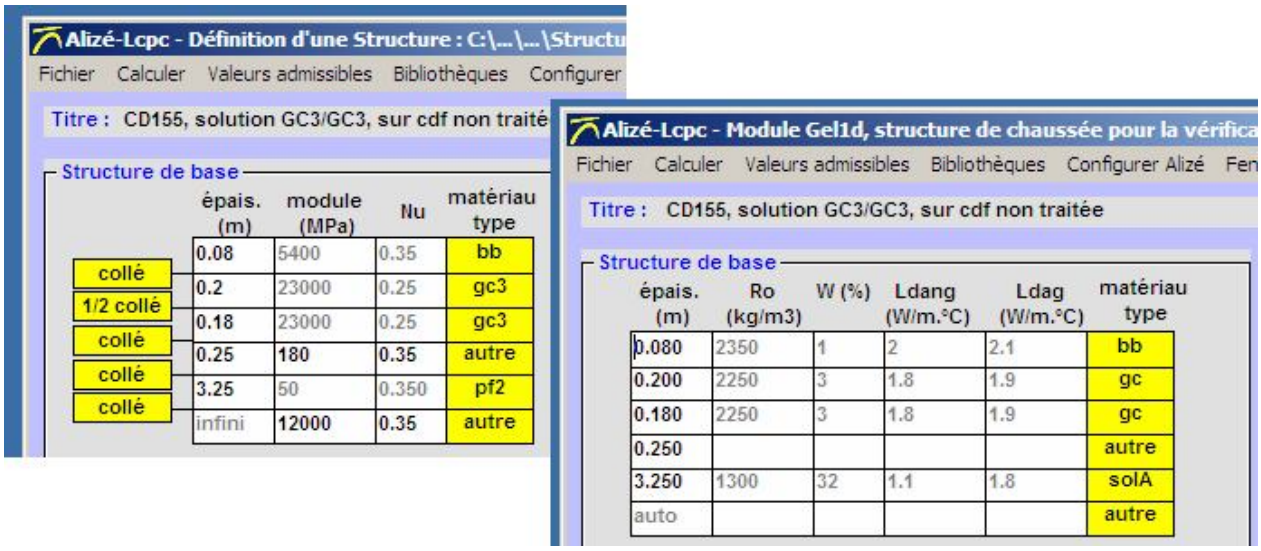

Alizé-Lcpc - Définition d'une Structure : C:\...\...\Structu
Fichier Calculer Valeurs admissibles Bibliothèques Configurer
Titre : CD155, solution GC3/GC3, sur cdf non traité
Structure de base
épais. (m) module (MPa) Nu matériau type
collé 0.08 5400 0.35 bb
1/2 collé 0.2 23000 0.25 gc3
collé 0.18 23000 0.25 gc3
collé 0.25 180 0.35 autre
collé 3.25 50 0.350 pf2
collé infini 12000 0.35 autre
Alizé-Lcpc - Module Gel1d, structure de chaussée pour la vérifica
Fichier Calculer Valeurs admissibles Bibliothèques Configurer Alizé Fen
Titre : CD155, solution GC3/GC3, sur cdf non traitée
Structure de base
épais. (m) Ro (kg/m3) W (%) Ldang (W/m.°C) Ldag (W/m.°C) matériau type
0.080 2350 1 2 2.1 bb
0.200 2250 3 1.8 1.9 gc
0.180 2250 3 1.8 1.9 gc
0.250 autre
3.250 1300 32 1.1 1.8 solA
auto autre

Figure 9.3 : Exportation d'une structure Alizé-mécanique vers Alizé-gel (exemple)

La structure exportée pour les calculs Alizé-gel comporte le même nombre de couches que la structure d'origine pour les calculs mécaniques. Les épaisseurs de ces couches sont conservées, à l'exception de celle la couche inférieure (voir §9.2). Si la structure d'origine comporte un ou plusieurs matériaux standard, une équivalence est de plus établie automatiquement entre les matériaux standard de la bibliothèque Alizé-mécanique et les matériaux standard de la bibliothèque Alizé-gel.

En fonction de l'étude à réaliser, l'utilisateur doit alors faire évoluer la structure de chaussée présentée sur l'écran Module Gel - définition d'une structure, et renseigner et/ou modifier les différents champs de valeurs qui définissent son comportement thermique. Il dispose à cet effet des commandes, fonctions et aides suivantes tableau 9.1) :

Action à réaliser	Bouton ou cellule à actionner
Ajouter une couche	«Ajouter 1 couche»
Supprimer une couche	«Supprimer 1 couche»
Définir les paramètres H (épaisseur), Ro (masse volumique), w (teneur en eau), Ldang (conductibilité thermique à l'état non gelée) et Ldag (conductibilité thermique à l'état gelé) des différentes couches	pour chaque matériau : cellules Epais, Ro, w(%), Ldang et Ldag
Utiliser la bibliothèque des matériaux standard	cellule «autre» ou matériau «xxx» de la colonne « matériau type » à droite de la couche concernée
Définir le niveau de la plate-forme	«Définir niveau Zpf »
Modifier le niveau de la plate-forme	«Modifier niveau Zpf »

Tableau 9.1 : Liste des commandes pour l création d'une structure de chaussée pour les calcul Alizé-gel

La figure 9.4 présente un exemple de structure pour les calculs Alizé-gel.

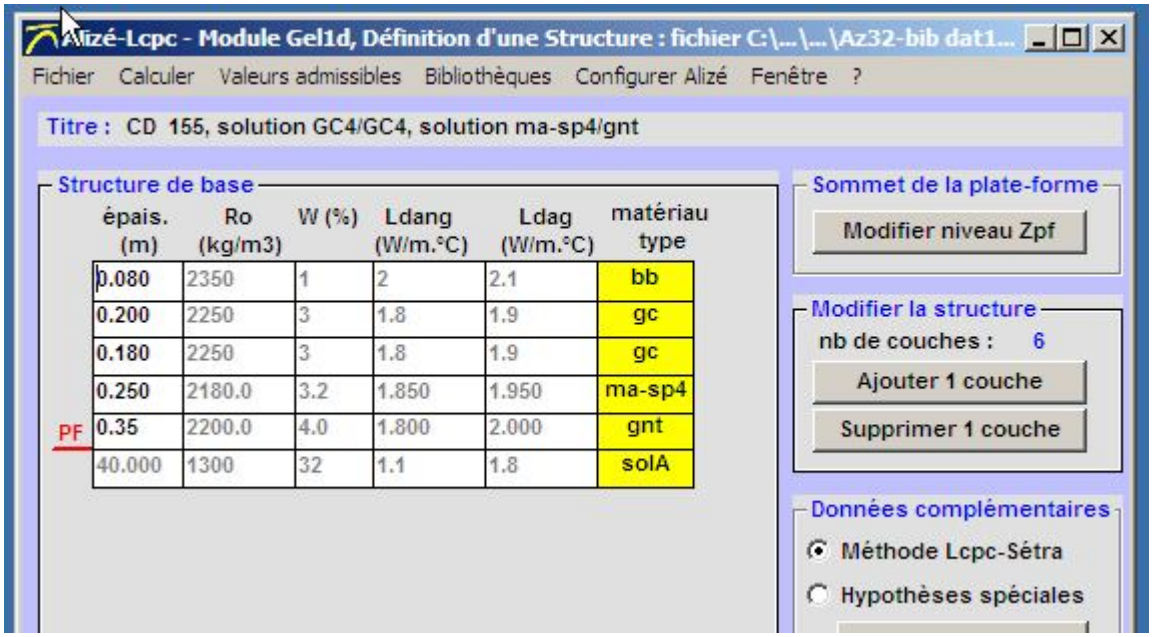


Figure 9.4 : Exemple de structure pour les calculs avec le module Alizé-gel

9.2- Quelques précisions et conseils pour la saisie des données

L'utilisateur est guidé dans la réalisation de ces différentes actions, par un ensemble complet de messages d'aide et d'avertissements en présence d'anomalies ou d'erreurs.

Quelques précisons essentielles sont rapportées ci-dessous :

- Le séparateur décimal utilisé pour l'entrée des valeurs numériques est obligatoirement celui pour lequel le système Windows a été configuré sur le PC utilisé (cf. Panneau de configuration/Options régionales et linguistiques/symbole décimal).
- Il est conseillé de renseigner la ligne réservée au titre de la structure en cours de définition, afin de faciliter par la suite son identification, par exemple lors de la relecture des données ou de l'édition des résultats des calculs.

- La détermination de l'épaisseur de la couche de matériau à la base du modèle ne donne pas lieu à une saisie directe. Cette épaisseur est en effet calculée automatiquement par le programme, à partir :
- de la position du sommet Zpf de la couche de forme dans le cas du choix des conditions de températures initiales et aux limites conformes à la méthode de vérification au gel-dégel Lcpc-Sétra (cf. §9.4) ;
- de la hauteur totale du modèle définie par le profil vertical de températures initiales To=f(z), dans le cas de conditions spéciales de températures initiales et aux limites, non conformes à celles de la méthode Lcpc-Sétra (cf. §9.4).
- Le nombre maximal de couches de matériaux constituant la structure de chaussée et son massif support est limité à 10. Le nombre minimal est de 2.
- Il est possible d'attribuer à l'une des couches de la structure les caractéristiques d'un matériau de la Bibliothèque du module Alizé-gel (cellule «autre» ou matériau «xxx» de la colonne « matériau type » à droite de la couche concernée). La liste des matériaux catalogués s'affiche alors sur l'écran (cf. figure 9.5). Il est possible de sélectionner :
- soit un matériau normalisé au sens du Guide technique Conception et dimensionnement des chaussées de 1994. Les matériaux normalisés sont repérés par leurs sigles alphanumériques conformes aux notations du guide Technique, et repérables par leur statut de type « system » ;
- soit un matériau personnel, qui aura préalablement été introduit par l'utilisateur dans la bibliothèque des matériaux du module Alizé-gel. Les matériaux personnels sont repérés par leur sigle alphanumérique défini par l'utilisateur, et repérables par leur statut de type « user».
  Pour des compléments sur l'utilisation de la bibliothèque des matériaux du module Alizé-gel, on se reportera au §9.6.

Les paramètres Durée d'observation et DeltaT sortie (voir feuille principale Module Alize-gel, Définition d'une structure) ont pour valeurs initiales 60 jours et 12 heures respectivement. La durée d'observation est la période qui sera prise en compte par le moteur de calcul Alizé-gel pour établir les courbes d'évolution des températures, des quantités de gel et des indices de gel en fonction du temps (soit de t=0 à t=durée d'observation). La donnée DeltaT est l'intervalle de temps définissant la résolution de ces différentes courbes de résultats. Les valeurs proposées 60 jours et 12 heures permettent de traiter la quasi-totalité des problèmes de vérification au gel-dégel des chaussées sur le territoire français, si l'on adopte les hypothèses de la méthode rationnelle Lcpc-Sétra. Il est évidemment possible de modifier ces valeurs, en fonction du problème à traiter.

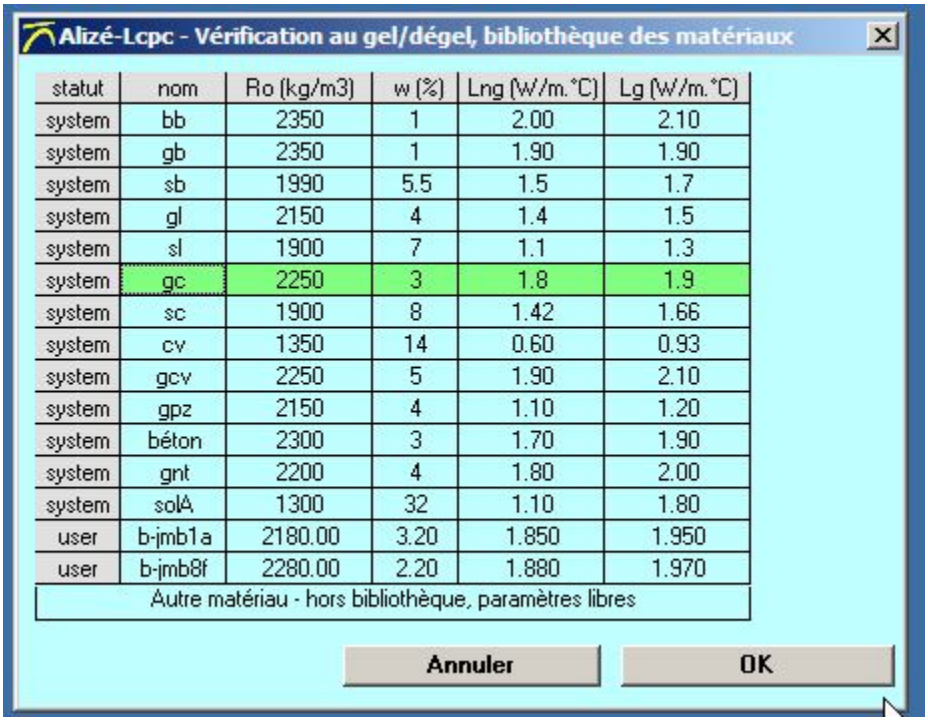

Alizé-Lcpc - Vérification au gel/dégel, bibliothèque des matériaux
statut | nom | Ro (kg/m3) | w (%) | Lng (W/m.°C) | Lg (W/m.°C)
system | bb | 2350 | 1 | 2.00 | 2.10
system | gb | 2350 | 1 | 1.90 | 1.90
system | sb | 1990 | 5.5 | 1.5 | 1.7
system | gl | 2150 | 4 | 1.4 | 1.5
system | sl | 1900 | 7 | 1.1 | 1.3
system | gc | 2250 | 3 | 1.8 | 1.9
system | sc | 1900 | 8 | 1.42 | 1.66
system | cv | 1350 | 14 | 0.60 | 0.93
system | gcv | 2250 | 5 | 1.90 | 2.10
system | gpz | 2150 | 4 | 1.10 | 1.20
system | béton | 2300 | 3 | 1.70 | 1.90
system | gnt | 2200 | 4 | 1.80 | 2.00
system | solA | 1300 | 32 | 1.10 | 1.80
user | b-jmb1a | 2180.00 | 3.20 | 1.850 | 1.950
user | b-jmb8f | 2280.00 | 2.20 | 1.880 | 1.970
Autre matériau - hors bibliothèque, paramètres libres
Annuler
OK

Figure 9.5: Ecran Bibliothèque des matériaux du module Alizé-gel, actionné par les cellules de la colonne matériaux type depuis la feuille Alizé-module Gel Définition d'une structure

9.3- Enregistrement et lecture des fichiers de données

Lorsqu'une structure de chaussée a été complètement définie et avant de poursuivre dans l'utilisation du logiciel, il est recommandé de sauvegarder l'ensemble des données relatives à cette structure. La sauvegarde s'effectue par la commande Fichier/Enregistrer sous de la barre de menu principal. L'opération d'enregistrement sur fichier est assurée classiquement par une boîte de dialogue au standard Windows.

Les commandes Fichier/Ouvrir et Fichier/Enregistrer sont également au standard Windows. Elles permettent, quant à elles, la lecture et l'enregistrement de fichiers de structures préalablement définis.

9.4- Définition des conditions initiales et des conditions aux limites

La définition des conditions de températures initiales et des conditions aux limites dans la structure de chaussée et son massif support est un préalable indispensable à la réalisation des calculs. Ces conditions se définissent à partir des cases à cocher du cadre Données complémentaires de la feuille Module Gel – définition de la structure. Deux modes de définition sont possibles :

Hypothèses de la méthode Lcpc-Sétra :
Le choix de l'option Méthode Lcpc-Sétra conduit à retenir les conditions de températures initiales et aux limites de la démarche rationnelle Lcpc-Sétra pour la vérification au gel-dégel des chaussées. Elles sont définies notamment par le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994. Lorsque cette option est sélectionnée, le bouton de commande Voir du cadre Données complémentaires permet de visualiser ces conditions (cf. figure 9.6).

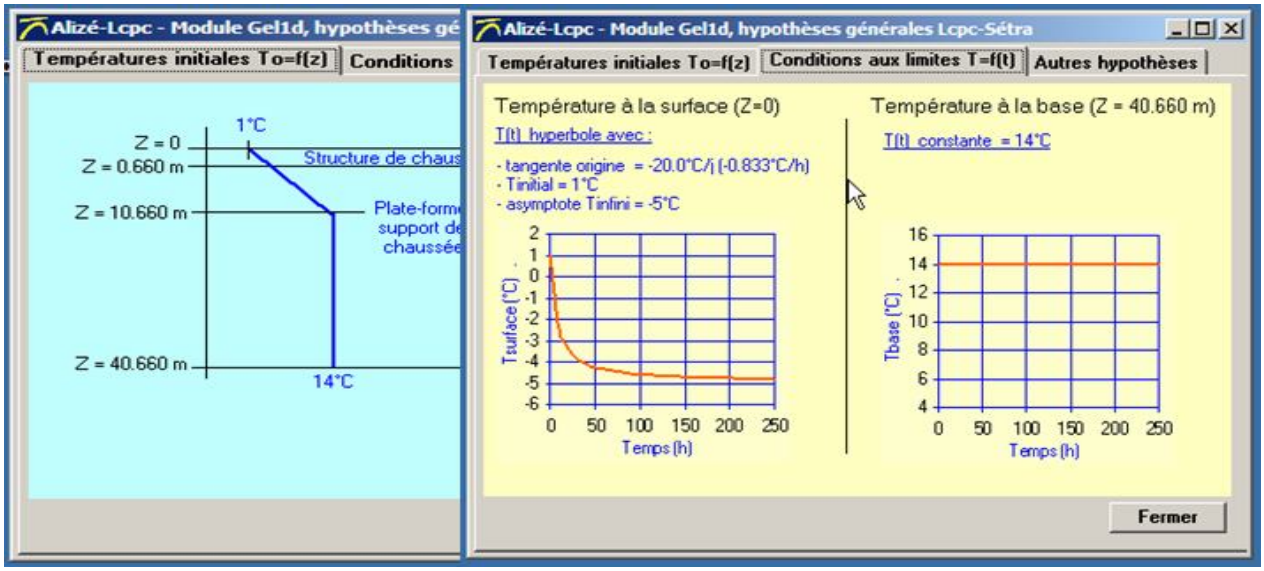


Figure 9.6: Visualisation des conditions de températures initiales et aux limites de la méthode de vérification au gel-dégel Lcpc-Sétra

Hypothèses spéciales :
Lorsque l'option Hypothèses spéciales est sélectionnée, la commande Définir-voir du cadre Données complémentaires ouvre la feuille Alizé-gel, Hypothèses spéciales.

Cette nouvelle feuille permet de saisir des conditions de températures initiales et des conditions aux limites différentes a priori de celles de la méthode de vérification au gel-dégel Lcpc-Sétra. Un exemple est présenté sur la figure 9.7.

La définition de ces conditions spéciales peut se faire selon 2 modes :

- Soit par saisie directe au clavier, afin de renseigner les 3 tableaux Températures initiales To=f(z), Températures à la surface Ts=f(t), et Températures à la base Tb=f(t).
- Soit par lecture sur fichier de conditions spéciales qui y auront été préalablement sauvegardées.

Les fichiers de stockage des conditions spéciales de températures initiales et aux limites portent l'extension .hag. Ces fichiers résultent eux-mêmes :

- Soit de l'enregistrement des données consignées dans les tableaux To=f(z), Ts=f(t) et Tb=f(t) de la feuille Alizé-gel, Hypothèses spéciales. Cet enregistrement est déclenché par la commande Enregistrer sous de cette feuille.
- Soit de leur création à l'aide d'un éditeur de texte. La commande Modèle fichier de la feuille Alizé-gel, Hypothèses spéciales renseigne sur la structure et l'arrangement des données dans les fichiers de conditions spéciales d'extension .hag.

La commande Dessin de la feuille Alizé-gel, Hypothèses spéciales permet de visualiser les profils de conditions initiales et de conditions limites consignées dans les tableaux To=f(t), Ts=f(t) et Tb=f(t). Un exemple est représenté sur la figure 9.8.

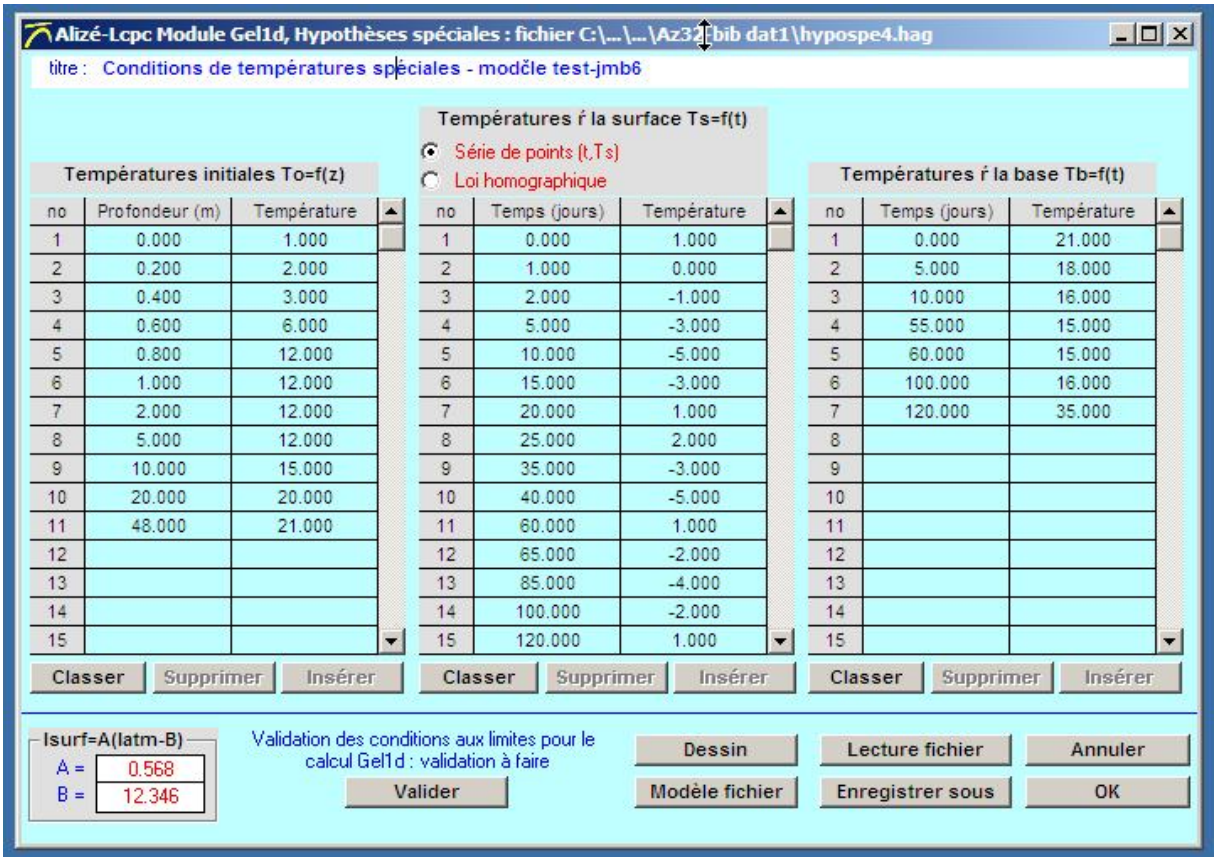


Figure 9.7: Définition de conditions de températures initiales et aux limites spéciales

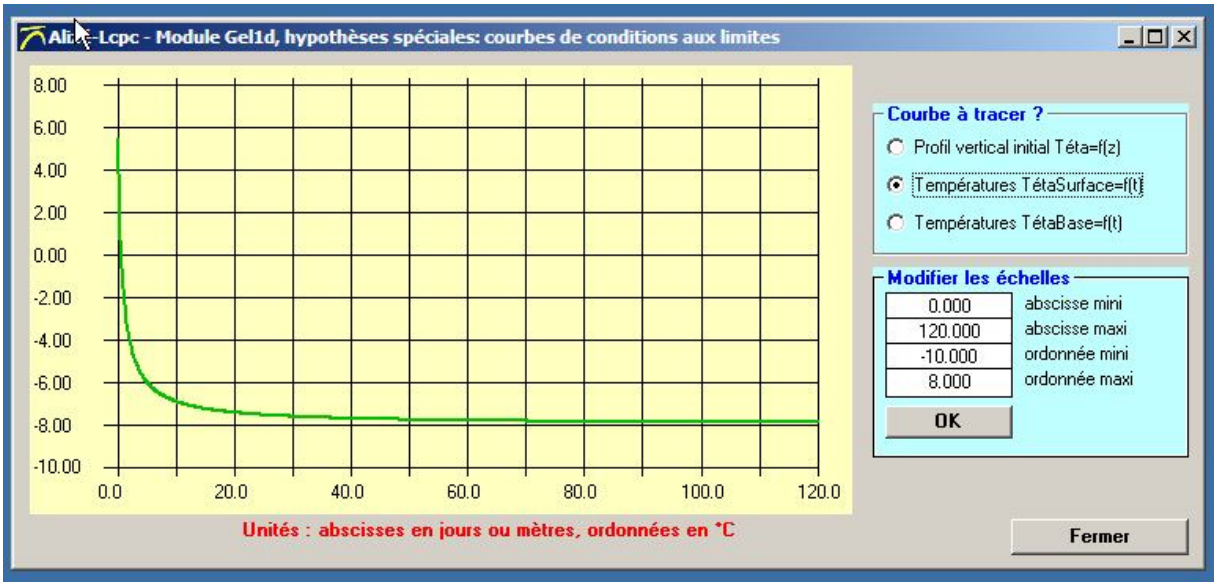


Figure 9.8 : Visualisation des conditions de températures initiales et aux limites spéciales

Il est enfin possible de définir dans la feuille Alizé-gel, Hypothèses spéciales, les coefficients de la relation linéaire entre l'indice de gel à la surface de la chaussée et l'indice de gel atmosphérique, Isurf = A x (Iatm-B). La méthode de vérification au gel-dégel Lcpc-Sétra fixe quant à elle les valeurs A = 0.7 et B = 10°Cxjour.

9.5- Calcul de la quantité Qpf de gel admissible par la plate-forme

Nota :
La détermination de la quantité de gel admissible par la plate-forme, Qpf, n'est pas en soi une donnée obligatoire pour la réalisation de calculs par le module Alizé-gel. Les seules données strictement nécessaires à ce calcul sont les données concernant la géométrie et les caractéristiques thermiques de la structure de chaussée et du massif support, et les données définissant les conditions de températures initiales et les conditions de températures aux limites. La définition, en tant que donnée de calcul, de la quantité de gel Qpf est cependant préconisée, quand sa détermination est possible. En effet, outre les courbes d'évolution des températures et des quantités et indices de gel, le programme déterminera alors automatiquement la valeur de l'indice de gel de surface et surtout l'indice de gel atmosphérique Iatm, correspondant à la valeur de gel Qpf transmise au sommet de la plate-forme. Dans la majorité des vérifications au gel-dégel des chaussées, cette dernière valeur de Iatm, comparée à l'indice de gel de référence du projet, permet de se prononcer directement sur la recevabilité ou non de la structure étudiée, vis-à-vis de son comportement au gel-dégel.

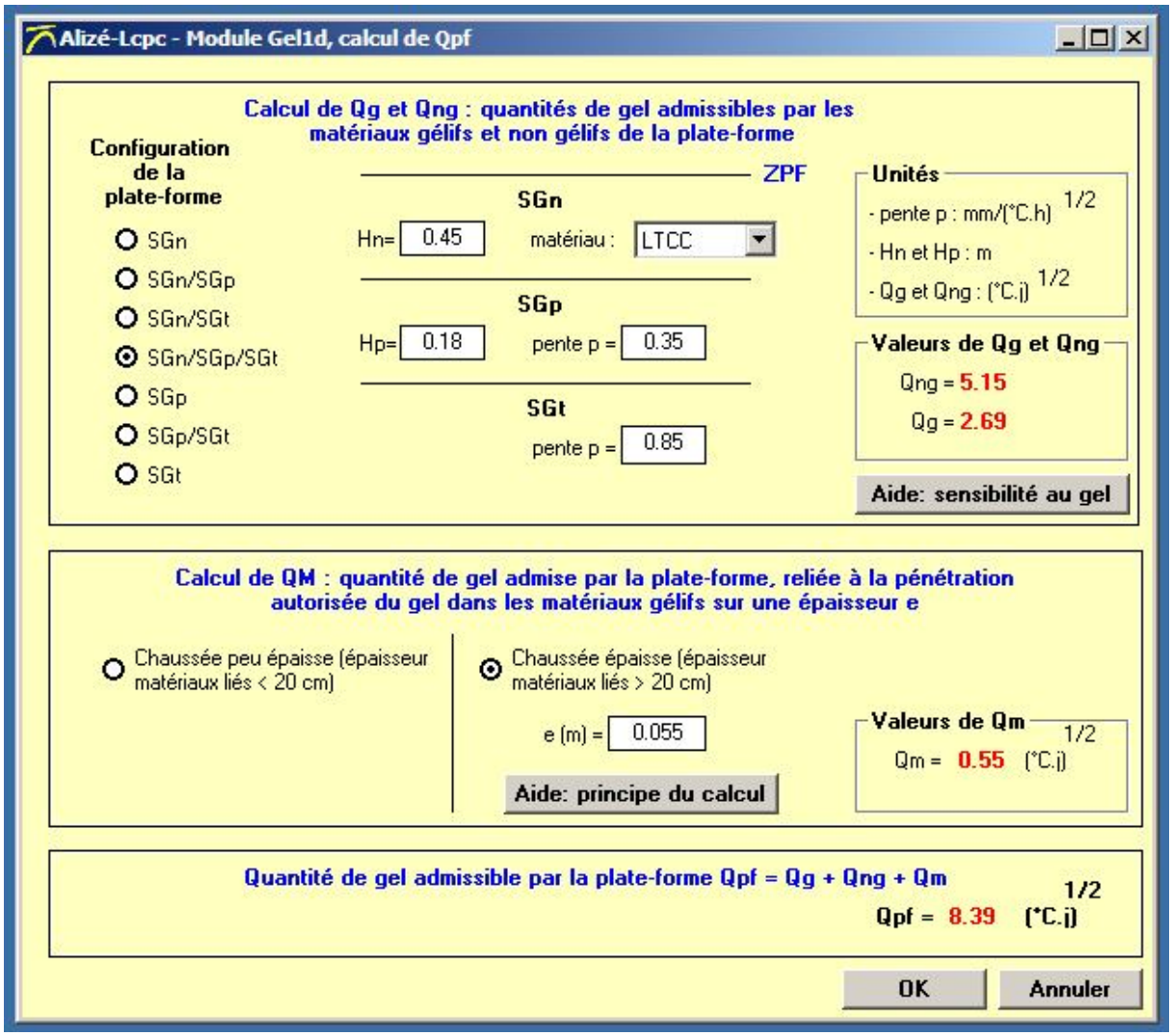

Alizé-Lcpc - Module Gel1d, calcul de Qpf
Calcul de Qg et Qng : quantités de gel admissibles par les matériaux gélifs et non gélifs de la plate-forme
Configuration de la plate-forme
SGn
SGn/SGp
SGn/SGt
SGn/SGp/SGt
SGp
SGp/SGt
SGt
ZPF
SGn
Hn= 0.45
matériau : LTCC
SGp
Hp= 0.18
pente p = 0.35
SGt
pente p = 0.85
Unités
- pente p : mm/(°C.h) 1/2
- Hn et Hp : m
- Qg et Qng : (°C.j) 1/2
Valeurs de Qg et Qng
Qng = 5.15
Qg = 2.69
Aide: sensibilité au gel
Calcul de QM : quantité de gel admise par la plate-forme, reliée à la pénétration autorisée du gel dans les matériaux gélifs sur une épaisseur e
Chaussée peu épaisse (épaisseur matériaux liés < 20 cm)
Chaussée épaisse (épaisseur matériaux liés > 20 cm)
e (m) = 0.055
Aide: principe du calcul
Valeurs de Qm
Qm = 0.55 (°C.j) 1/2
Quantité de gel admissible par la plate-forme Qpf = Qg + Qng + Qm
Qpf = 8.39 (°C.j) 1/2
OK
Annuler

Figure 9.9 : Détermination de la quantité de gel Qpf admissible par la plate-forme, selon le mode de calcul spécifié par le guide technique Conception et dimensionnement des chaussées Lcpc-Sétra de 1994

La commande Calculer Qpf de la feuille principale Alizé-module Gel - structure de chaussée ouvre la feuille Calcul de Qpf. Cette feuille met en œuvre la méthode de détermination de Qpf qui est spécifiée par le guide technique Conception et dimensionnement des chaussées Lcpc-Sétra de 1994. Les menus d'aide Sensibilité au gel et Principe du calcul de Qm sont directement issus des recommandations formulées dans ce même guide, auquel on se reportera pour des précisons complémentaires. Un exemple de calcul de Qpf est présenté sur la figure 9.9.

Il est également possible de définir directement la valeur de Qpf sans passage par la feuille Calcul de Qpf, en renseignant directement le champ de saisie Quantité de gel admissible par la plate-forme de la feuille principale Alizé-Gel définition de la structure.

9.6- Précisions concernant la bibliothèque de matériaux Alizé-gel

9.6.1- Description de la bibliothèque

La bibliothèque de matériaux du module Alizé-gel est appelée afin d'affecter à l'une des couches de la structure, les paramètres thermiques d'un des matériaux consignés dans cette bibliothèque.

La bibliothèque Alizé-gel comprend :

- les matériaux standard dont les caractéristiques pour les calculs au gel-dégel sont définies par le guide technique Conception et dimensionnement de chaussées de 1994. Ces matériaux standard sont repérables par leur statut « system », leurs différents paramètres ne sont pas modifiables.
- et le cas échéant les matériaux personnels introduits dans la bibliothèque par l'utilisateur. Ces matériaux utilisateur sont repérables par leur statut « user », leurs différents paramètres sont modifiables à la demande de l'utilisateur. Il est possible d'ajouter des matériaux « user » et d'en supprimer.

9.6.2- Utilisation de la bibliothèque

La commande Bibliothèque/Gel de la barre de menu principal dans la feuille Alizé-mécanique Définition d'une structure permet de consulter, et de modifier, la bibliothèque d'Alizé-gel (figure 4.3).

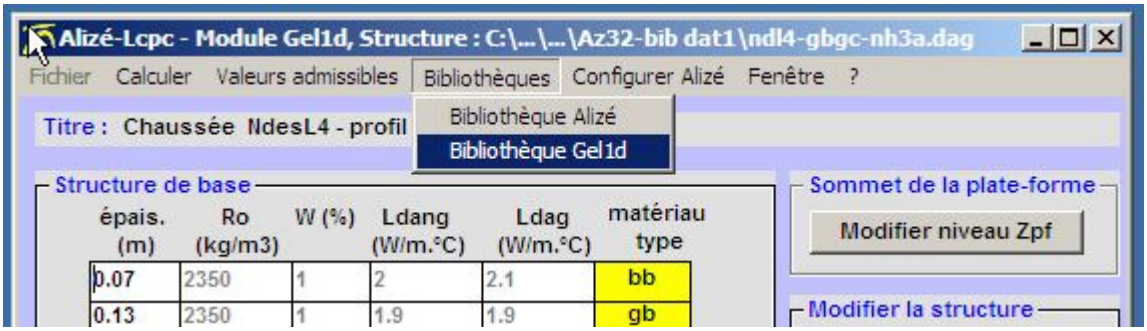


Figure 4.3 : Commande pour la consultation de la bibliothèque Alizé-gel

Cette commande ouvre la feuille Vérification au gel-dégel - bibliothèque des matériaux, qui affiche à l'écran la liste des matériaux standard et des matériaux utilisateur éventuels, ainsi que leurs paramètres thermiques (cf. figure 9.5).

L'introduction dans la bibliothèque d'un matériau personnel de statut « user » se fait en actionnant la commande Ajouter un matériau. L'utilisateur doit alors renseigner les champs permettant d'affecter à ce nouveau matériau un sigle, puis ses paramètres de comportement pour les calculs thermiques.

Il sera par la suite possible de modifier le sigle et/ou les paramètres attribués à un matériau personnel : ceci s'effectue en sélectionnant par un clic la ligne correspondant au matériau à modifier, qui devient alors surlignée.

Il sera également possible de supprimer de la bibliothèque Alizé-gel un matériau personnel donné, à l'aide de la commande Supprimer le matériau de la feuille Vérification au gel-dégel - bibliothèque des matériaux.

10 Alizé-gel : Lancement des calculs et sortie des résultats

10.1- Commandes pour le lancement des calculs Alizé-gel

Le lancement d'un calcul Alizé-module gel s'effectue soit à partir de la commande Lancer le calcul Gel de la feuille principale, soit à partir de la barre de menu principal Calculer/Gel de cette même feuille (figure 10.1)

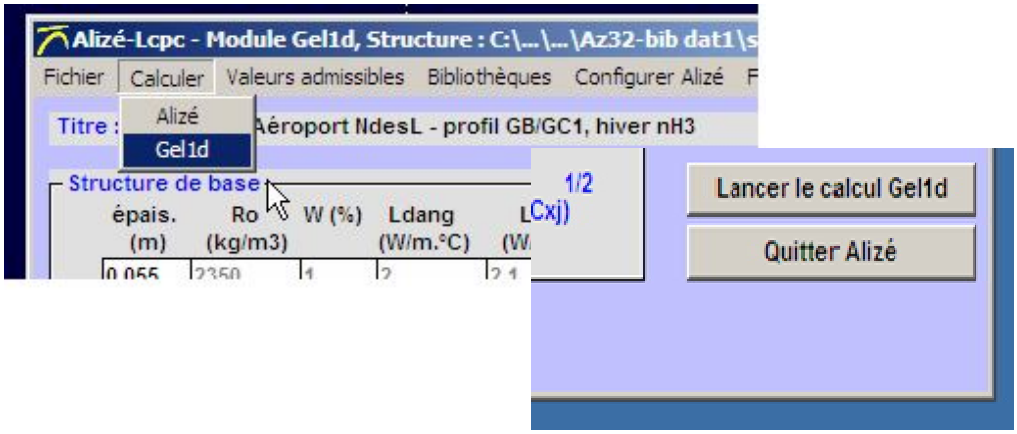


Figure 10.1: Lancement des calculs Alizé-gel

Dans le cas du lancement d'un calcul à l'aide de la commande Lancer le calcul Gel, les données utilisées sont obligatoirement les données de structure et de conditions initiales et aux limites figurant à l'écran. Ce premier mode de lancement des calculs est préconisé dans la majorité des cas. Il constitue en fait un raccourci accélérant le lancement des calculs et l'affichage des résultats.

Dans le cas du lancement de calcul à l'aide de la commande Calculer/Gel de la barre de menu principal, la feuille Alizé-gel Lancement des calculs est ouverte (figure 10.2). Elle propose les choix suivant :

- données de calcul figurant sur la feuille principale Alizé-gel, définition de la structure de chaussée ;
- ou données de calcul lues dans un fichier de données préalablement créé (extension .dag). Dans ce second cas, les données relatives aux conditions de températures initiales et aux limites sont obligatoirement celles de la méthode de vérification au gel-dégel Lcpc-Sétra.

Alizé-Lcpc Module Gel1d : Lancement des calculs
Structure de chaussée pour Gel1d
Données en cours (écran Structure Gel1d)
Fichier de données Gel1d (...dag)
Définir le fichier Structure pour Gel1d
Lancer le calcul Gel1d
Quitter le module Calcul

Figure 10.2 : Lancement des calculs Alizé-gel à partir de la commande Calculer/gel de la barre de menu principal

10.2- Résultats des calculs Alizé-gel

L'achèvement des calculs à l'aide du moteur de calcul Alizé-gel ouvre directement la feuille Alizé-Lcpc Résultats des calculs Gel. Les résultats sont présentés sous la forme de cinq graphiques affichés à l'écran selon le choix de l'utilisateur :

Graphique 1
Il représente les variations de l'indice de gel à la surface de la chaussée et de l'indice de gel atmosphérique (Iatm), en fonction de la quantité de gel Qtpf transmise au sommet Zpf de la plate-forme. Ce premier graphique fournit également la courbe de variation de Iatm en fonction de Qtpf, résultant de la démarche de calcul simplifiée exposée dans le guide technique Conception et dimensionnement des chaussées de 1994. Toutefois, cette courbe représentant la relation simplifiée Iatm = f(Qtpf) n'est reproduite sur ce graphique que lorsque les deux conditions suivantes sont vérifiées :

- Les matériaux composant les différentes couches de la chaussée et de son massif support sont tous des matériaux standard, catalogués sous le statut « system » dans la bibliothèque des matériaux du module Alizé-gel. Dans le cas contraire, la méthode simplifiée ne peut pas en effet être appliquée, certains coefficients restant non déterminés en cas de matériaux non standard.
- L'option Rappeler les résultats de la méthode simplifiée doit avoir été sélectionnée préalablement. Cette option est accessible par la commande Configurer Alizé/Personnaliser de la barre de menu principal (cf. figure 10.3).

Dans le cas où la valeur de la quantité de gel Qpf admissible par la plate-forme a été préalablement déterminée (cf. §9.5), l'indice de gel atmosphérique pour lequel la quantité de gel transmise au sommet de la plate-forme est égale à la quantité Qpf est également figurée à l'écran. C'est sur la base de la comparaison entre cette valeur de Iatm et l'indice de référence IR du projet, que l'utilisateur se prononcera sur la vérification au gel-dégel de la structure de chaussée étudiée, ou sa non-vérification. Un exemple de graphique 1 est reproduit sur la figure 10.4 présente un exemple de courbes de résultats IS = f(Qpf) et Iatm = f(Qpf).

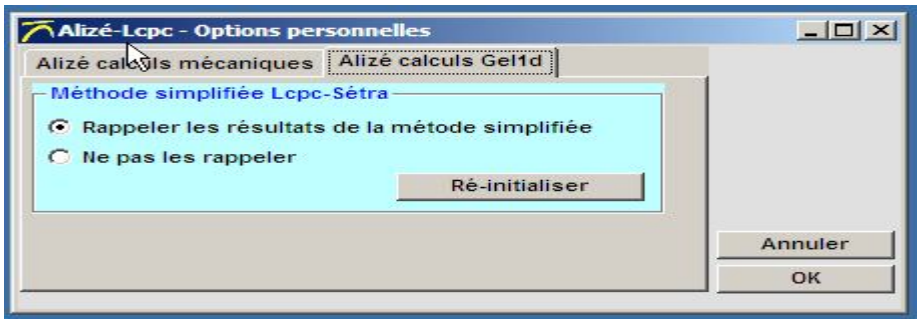


Figure 10.3: Choix de l'option Rappeler ou non les résultats de la méthode simplifiée pour le calcul de la relation Iatm = f(Qtpf), accessible depuis le menu Configurer Alizé/Personnaliser

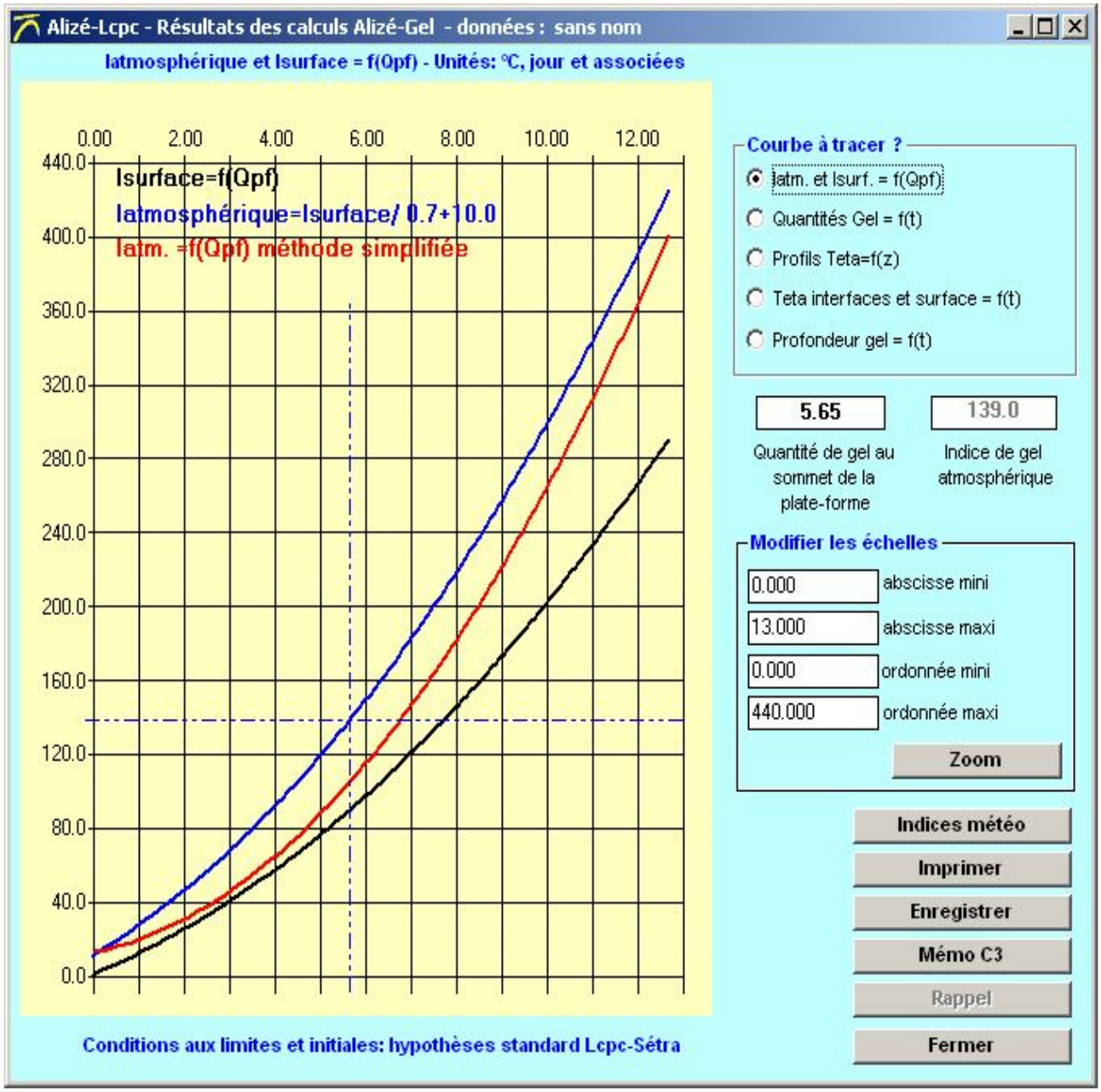


Figure 10.4: Résultats des calculs Alizé-Gel – Courbe de variation des indices de gel à la surface en fonction de la quantité de gel transmise au sommet de la plate-forme (exemple)

Graphique 2
Il représente les courbes d'évolution des quantités de gel calculées aux niveaux des interfaces entre couches et à la surface de la chaussée en fonction du temps (cf. exemple de la figure 10.5).

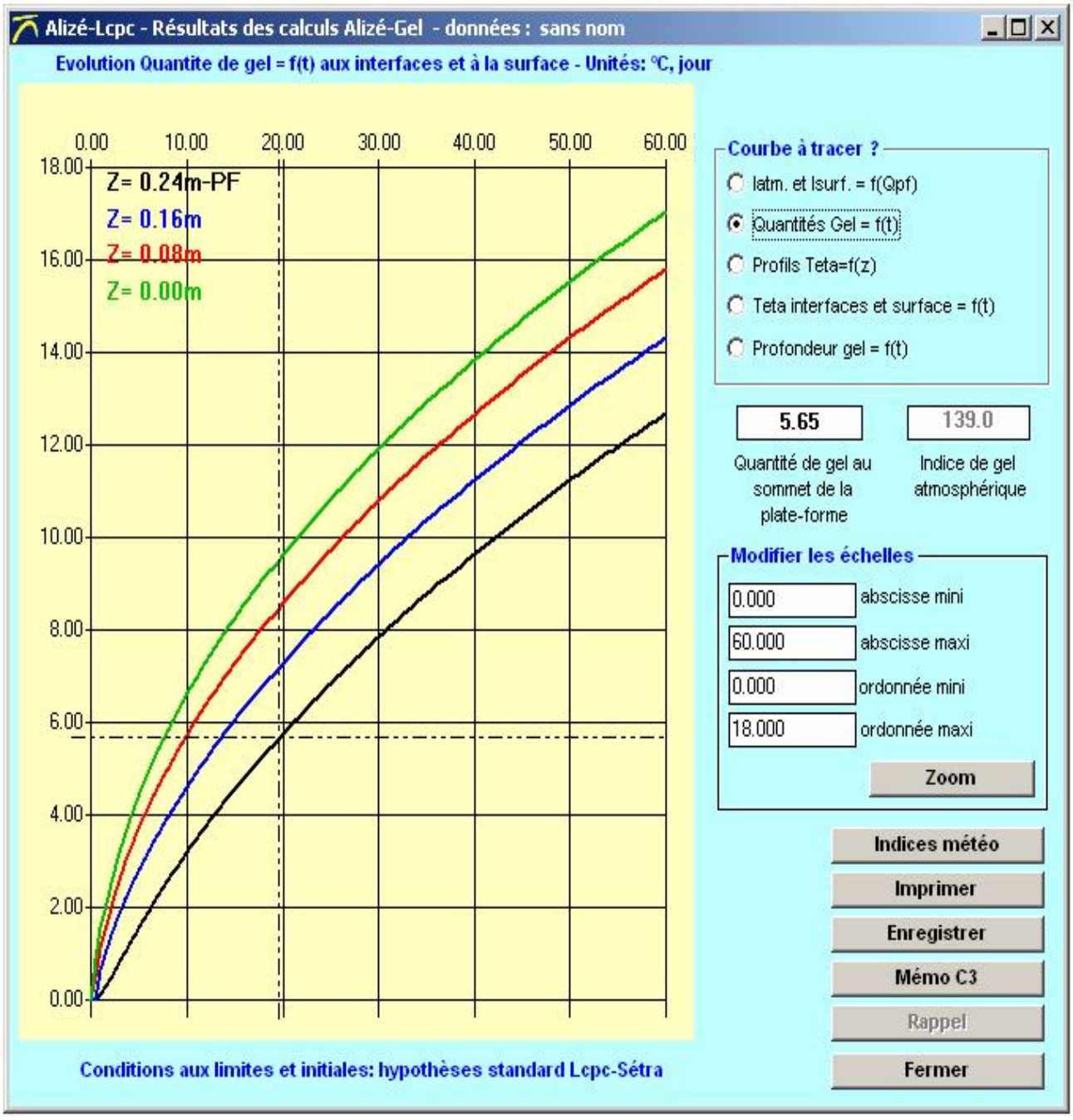


Figure 10.5: Résultats des calculs Alizé-Gel – Courbe d'évolution des quantités de gel aux interfaces et à la surface de la chaussée en fonction du temps (exemple)

Graphique 3
Il représente les profils verticaux de températures calculés à six instants répartis sur toute la durée d'observation (cf. exemple de la figure 10.6).

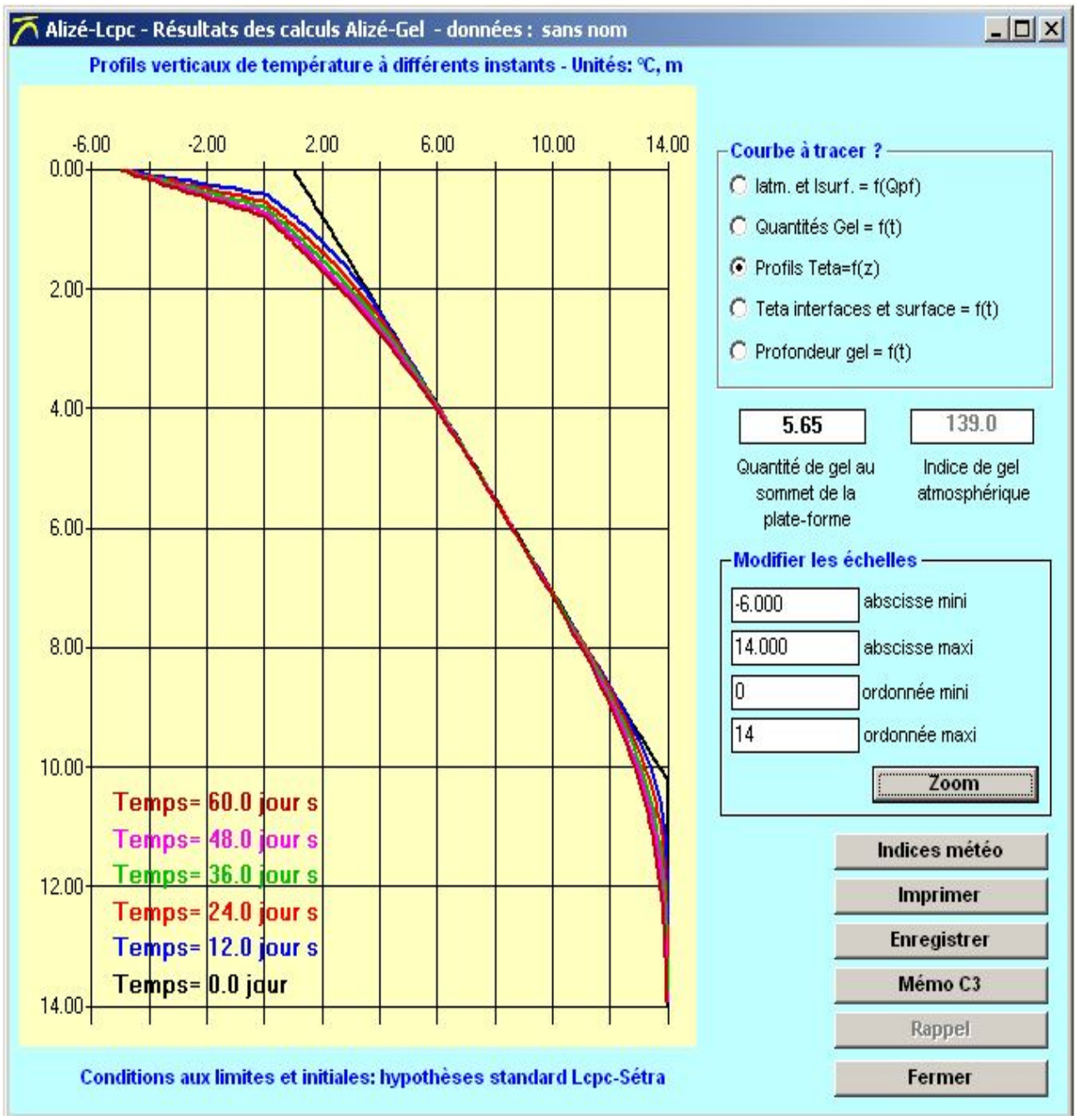


Figure 10.6: Résultats des calculs Alizé-Gel – Profils verticaux de températures à 6 instants (exemple) à la surface de la chaussée en fonction du temps (exemple)

Graphique 4
Il représente courbe d'évolution de la température aux interfaces et à la surface de la chaussée en fonction du temps (cf. exemple de la figure 10.7).

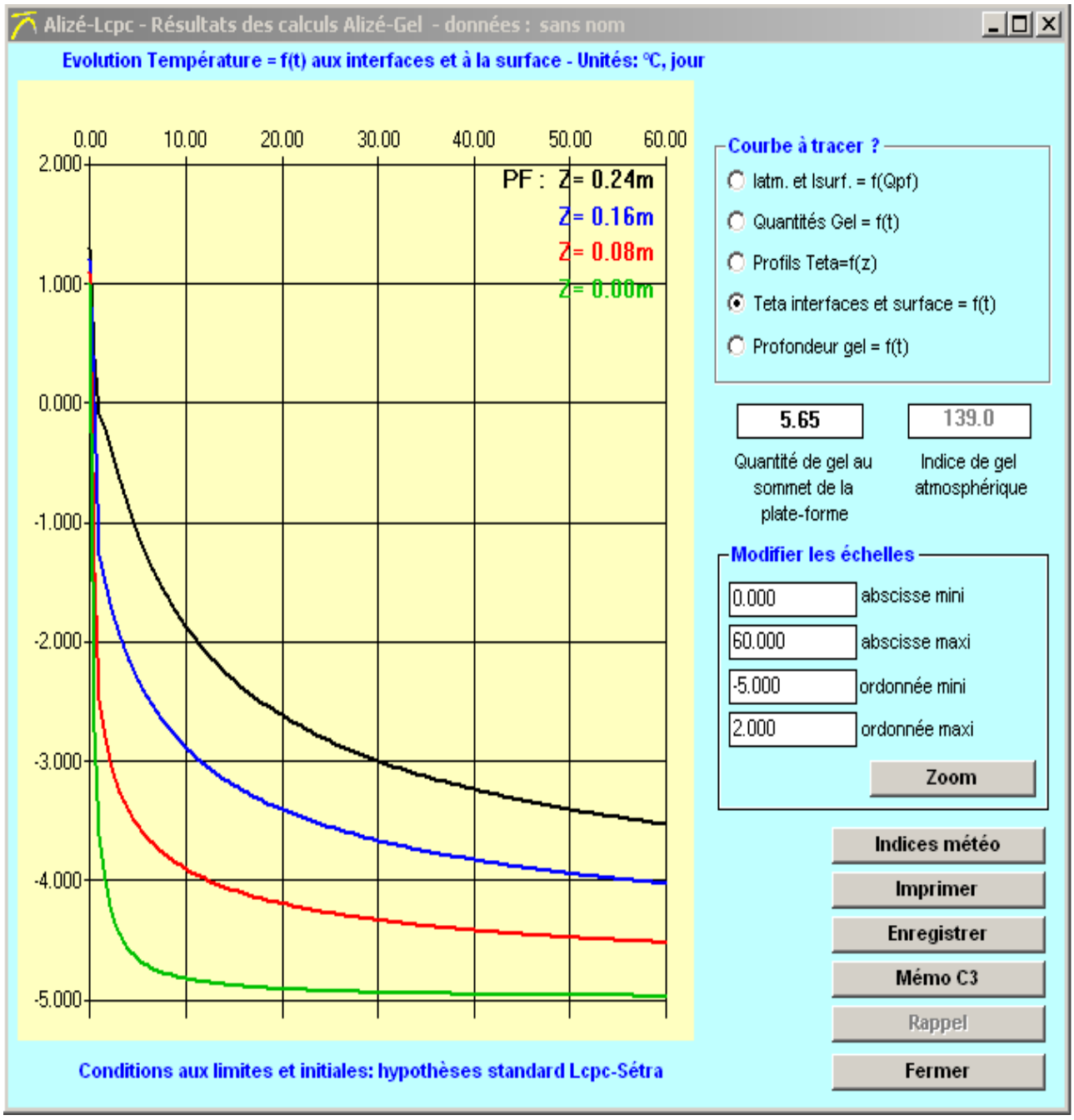


Figure 10.7: Résultats des calculs Alizé-Gel – Courbes d'évolution de la température aux interfaces et

Graphique 5
Il représente courbe d'évolution de la profondeur de gel en fonction du temps (cf. exemple de la figure 10.8).

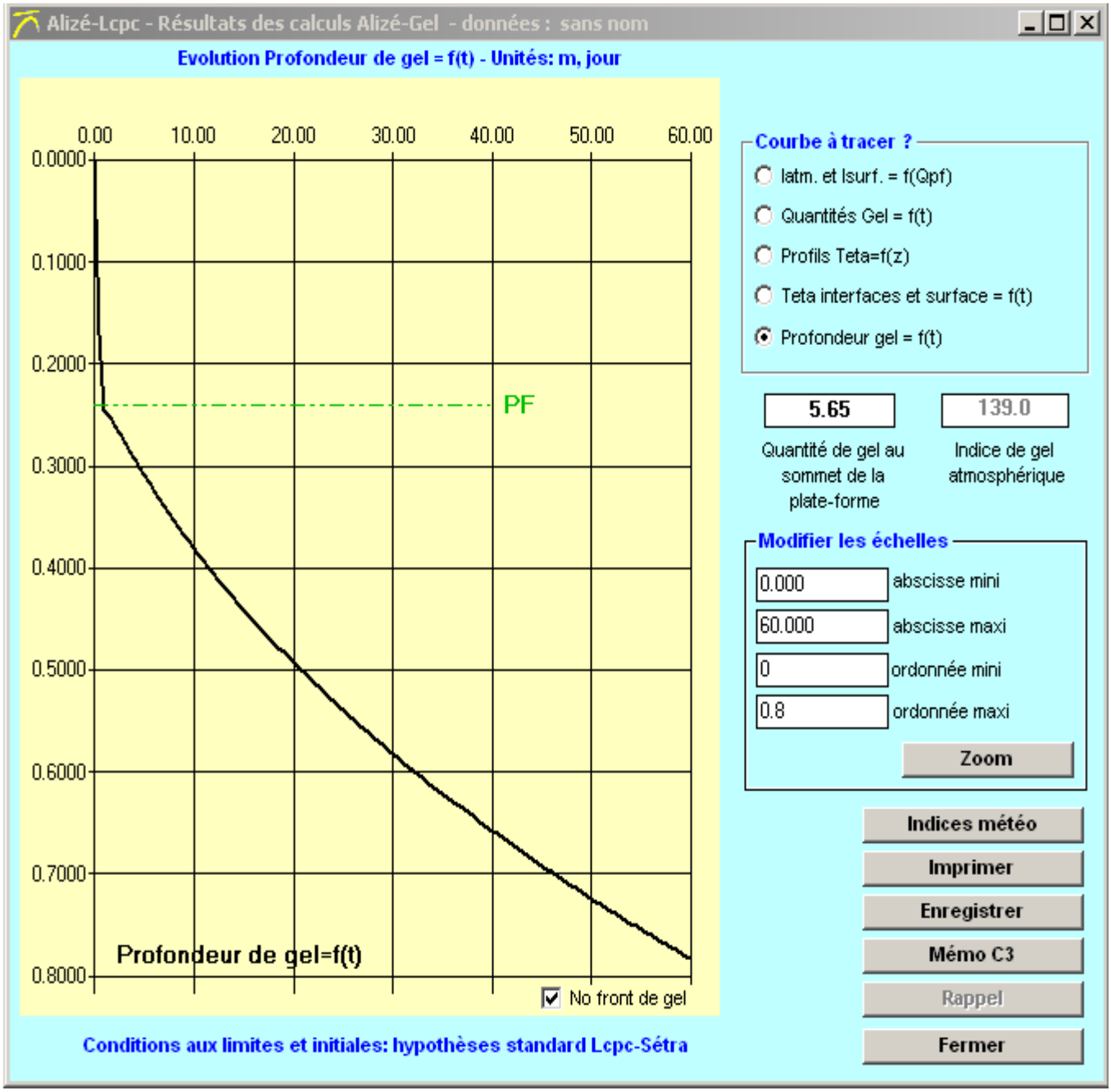


Figure 10.8: Résultats des calculs Alizé-Gel – Courbe d'évolution de la profondeur de gel en fonction du temps (exemple)

La commande Memo Cj de la feuille Alizé-Lcpc Résultats des calculs Gel permet de stocker dans un buffer temporaire l'ensemble des résultats d'un calcul donné (calcul no j dans la liste des calculs successifs effectués par le module Alizé-Gel).

Lorsque les résultats d'un calcul ont ainsi été mémorisés dans ce buffer de stockage, il est possible de rappeler ces résultats lors des calculs ultérieurs à l'aide de la commande Rappel Cj. Ce rappel déclenche le tracé en trait fin des courbes de résultats d'un calcul précédent stocké en mémoire, simultanément au tracé des résultats du nouveau calcul venant d'être effectué (figure 10.9). Cette option facilite les comparaisons entre les résultats de calculs successifs faisant appel à des données différentes.

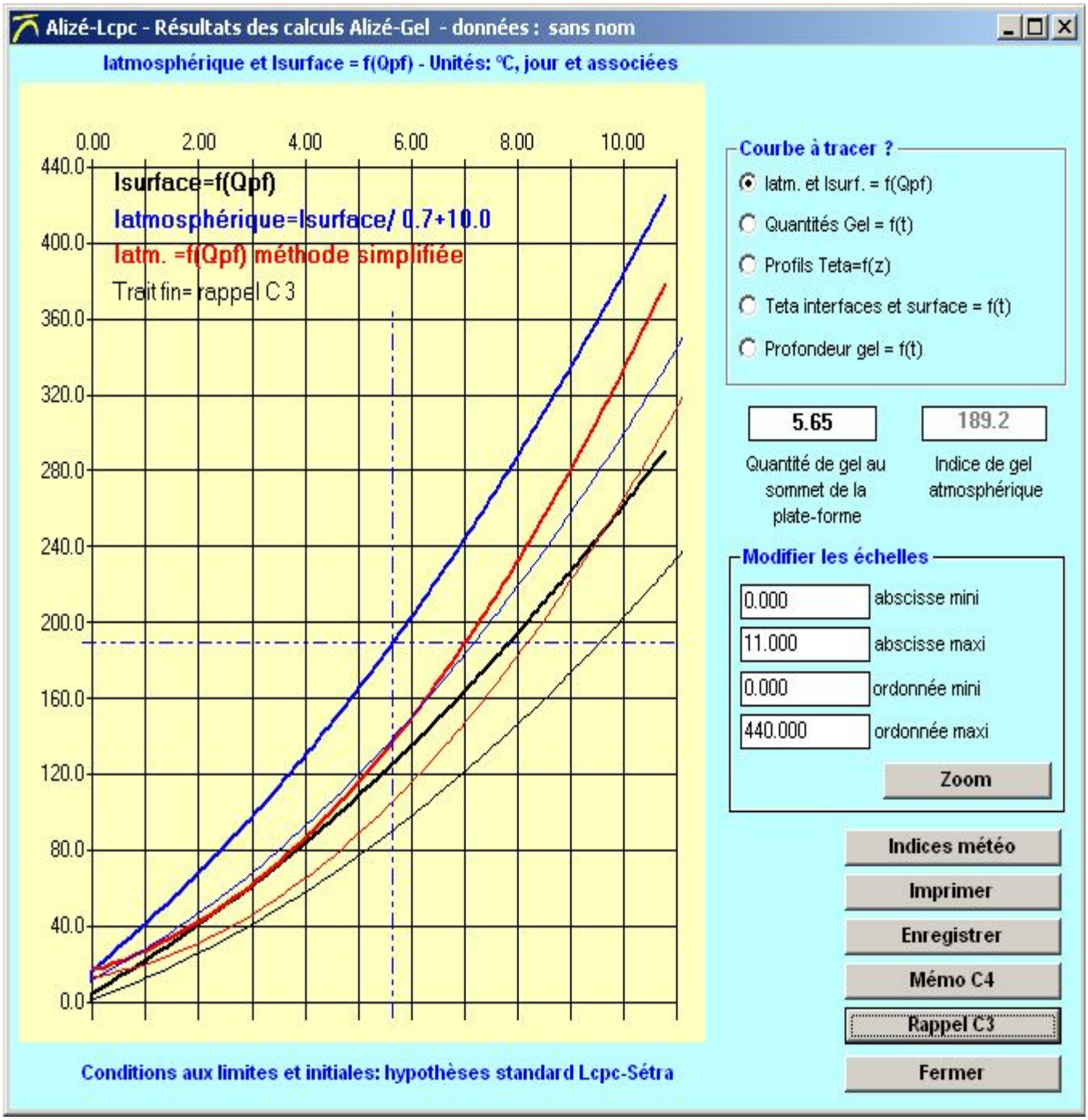
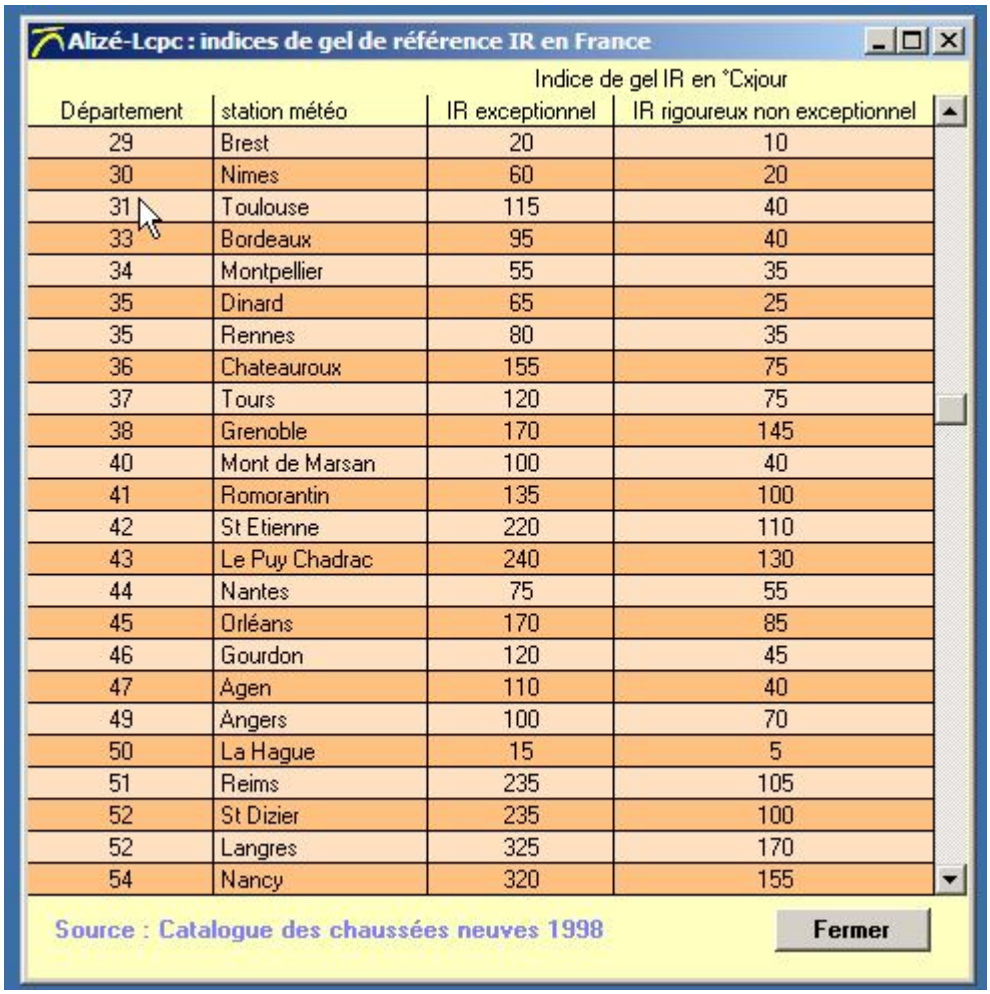


Figure 10.9 : Résultats des calculs Alizé-Gel, utilisation des commandes Memo et Rappel, exemple

Il est possible de consulter, depuis la feuille Alizé-Lcpc Résultats des calculs Gel, les indices de gel de référence IR en France, à l'aide de la commande Indices météo IR. Cette consultation est également possible depuis la feuille principale Alizé-Gel Définition de la structure (cf. figure 10.10).


Alizé-Lcpc : indices de gel de référence IR en France
Indice de gel IR en °Cxjour
Source : Catalogue des chaussées neuves 1998
Fermer

Département	station météo	IR exceptionnel	IR rigoureux non exceptionnel
29	Brest	20	10
30	Nimes	60	20
31	Toulouse	115	40
33	Bordeaux	95	40
34	Montpellier	55	35
35	Dinard	65	25
35	Rennes	80	35
36	Chateauroux	155	75
37	Tours	120	75
38	Grenoble	170	145
40	Mont de Marsan	100	40
41	Romorantin	135	100
42	St Etienne	220	110
43	Le Puy Chadrac	240	130
44	Nantes	75	55
45	Orléans	170	85
46	Gourdon	120	45
47	Agen	110	40
49	Angers	100	70
50	La Hague	15	5
51	Reims	235	105
52	St Dizier	235	100
52	Langres	325	170
54	Nancy	320	155

Figure 10.10: Aide Indice de gel de référence IR en France, selon le Catalogue des structures neuves de 1998

Enfin les commandes Imprimer et Enregister de la feuille Alizé-Lcpc Résultats des calculs Gel permet l'édition des résultats de calcul, ou leur sauvegarde sur fichier au format Ascii pour reprise ultérieure à l'aide d'un éditeur de texte ou d'un tableur. Différentes options sont proposées pour fixer les tableaux de résultats à imprimer ou à enregistrer, ainsi que leur formatage.

La figure 10.11 présente un exemple d'édition sur imprimante des résultats de calcul Alizé-gel.

Alizé-Lcpc - Dimensionnement des structures de chaussées
selon la méthode rationnelle Lcpc-Sétra. Vérification au gel-dégel

Signalement du calcul
titre de l'étude : Déviation SE, Variante GB3/GC3 sans cdf
fichier structure : C:\...\...\Az32-bib dat1\dev-SE2.dag
conditions aux limites : cf. Méthode Lcpc-Setra
Données : structure de chaussée

Zsup (m)	Zinf (m)	H (m)	Gamma (Kg/m3)	Weau (%)	LbdaNg (W/m°C)	LbdaG (W/m°C)	Matériau type
0.000	0.070	0.070	2350.0	1.0	2.00	2.10	bb
0.070	0.180	0.110	2350.0	1.0	1.90	1.90	gb
0.180	0.360	0.180	2250.0	3.0	1.80	1.90	gc
0.360	0.710	0.350	2200.0	4.0	1.80	2.00	gnt
0.710	1.710	1.000	1300.0	32.0	1.10	1.80	solA
1.710	40.710	39.000	1300.0	32.0	1.10	1.80	solA

niveau de la plate-forme = 0.710 m

Données pour le calcul de la quantité de gel Qpf admissible par la plate-forme
Configuration de la plate-forme : SGn/SGp/Gt
matériaux non gélifs : classe B ou C (An = 0.13), épaisseur hn = 0.280 m
d'où quantité de gel Qng = 2.24 racine(°Cxjours)
matériaux peu gélifs : pente p = 0.380 mm/racine(°Cxh), épaisseur hp = 0.150 m
matériaux très gélifs : pente p = 0.950 mm/racine(°Cxh)
d'où quantité de gel Qg = 2.68 °racine(°Cxjours)
Quantité de gel Qm reliée à la pénétration autorisée du gel dans les matériaux gélifs
chaussée épaisse (matériaux liés > 20 cm), avec e = 0.045 m
d'où quantité de gel Qm = 0.45 °racine(°Cxjours)
Qpf admissible = Qng + Qg +Qm = 5.37 racine(°Cxjours)

Résultat du calcul : indice de gel atmosphérique admissible par la chaussée
Iatmosphérique admissible = 377.2 °Cxjours
La chaussée est vérifiée vis à vis du gel-dégel si l'indice de gel atmosphérique
du site est inférieur ou égal à 377.2 °Cxjours

Courbes Iatmosphérique et Isurface

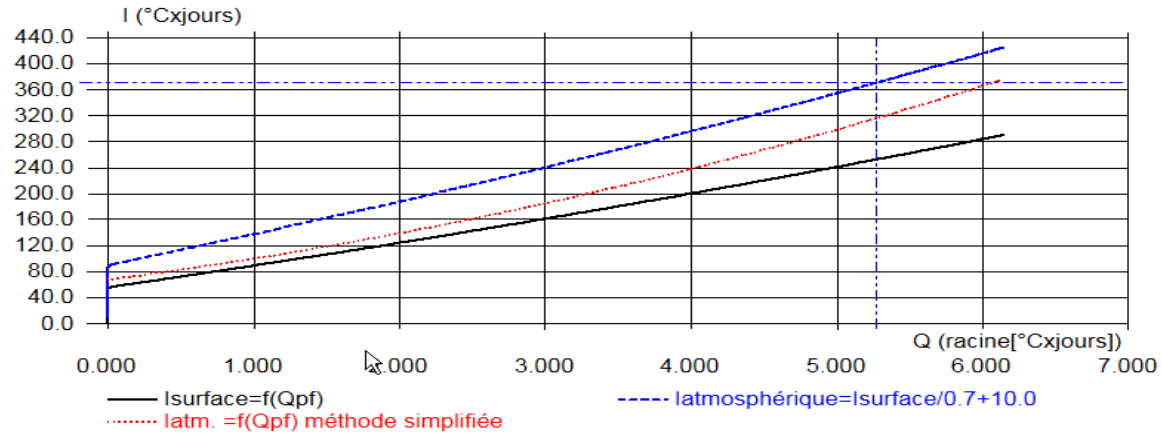


Figure 10.11: Edition sur imprimante des résultats d'un calcul Alizé-gel (exemple)

11 Alizé-rétrocalcul : Données, lancement des calculs et sortie des résultats

11.1- Description du problème traité

Le module Alizé-rétrocalcul permet d'évaluer les modules d'élasticité de toutes ou de certaines couches de matériaux constituant une structure de chaussée, à partir du bassin de déflexion créé par une charge connue. Cette charge est composée d'un disque circulaire unique (cf. roue simple, plaque du chargement du FWD – Falling Weight Deflectometer …) ou d'un jumelage (déflectographe LPC, Curviamètre …), chargé par une pression statique verticale uniforme.

La structure de chaussée est assimilée à un massif multicouche élastique linéaire, selon les principes et les hypothèses de modélisation utilisés par le module Alizé-mécanique (cf. partie 4 et 5). Les épaisseurs des différentes couches, les coefficients de Poisson et la nature des interfaces entre couches sont fixées. Les inconnues du problème à résoudre sont les valeurs des modules d'élasticité de certaines ou de toutes les couches de matériaux. Ces valeurs sont déterminées par ajustement entre les bassins de déflexion mesurés et calculés. En application courante, les valeurs de modules rétrocalculés contribuent à l'évaluation du degré d'endommagement des matériaux dans les structures en service. Ils permettent également de reproduire la déformabilité de la structure de chaussée en place dans les calculs de renforcement.

Les données nécessaires aux calculs sont les suivantes :

- données relatives à la structure de chaussée : nombre de couches, épaisseurs et coefficients de Poisson des différentes couches, nature des interfaces. Les valeurs initiales des modules d'élasticité de ces différentes couches sont également requises. Selon le type de calcul spécifié, ces valeurs initiales de modules sont utilisées pour initialiser l'algorithme de calcul inverse (algorithme de Newton-Raphson) ou pour construire la grille de calcul, ainsi que cela est détaillé au §11.2.
- données relatives au chargement de la chaussée : type de charge (simple ou jumelée), caractéristiques Rayon – Poids et/ou Pression du chargement et entre-axe du jumelage le cas échéant ;
- bassin de déflexion défini par les valeurs de déflexion mesurées en différents points situés à différentes distances du chargement.

Trois types de traitement sont proposés :

- calcul inverse conduisant à la détermination du jeu de modules recherché, sur la base de l'optimisation de l'ajustement entre les bassins de déflexions mesurés et calculés. Le problème inverse est ramené à la résolution d'un système d'équations surdimensionné, qui est traité par un algorithme d'optimisation automatique de typer Newton-Raphson modifié.
- calcul selon une grille de valeurs de modules prédéfinie par l'utilisateur. Pour chaque couche est fixée la série des différentes valeurs de modules à considérer (suite arithmétique), à partir de la donnée de la valeur minimale de module, du pas d'accroissement et du nombre de valeurs de modules. Les calculs directs des bassins de déflexions sont effectués en chaine par le programme, les résultats étant finalement classés par ordre décroissant d'ajustement entre les valeurs de déflexion mesurées et calculées.
- calcul des modules de surface. Pour un point de déflexion donné, le module de surface est défini comme le module du massif homogène élastique-linéaire semi-infini (massif de Boussinesq), conduisant à la valeur de déflexion mesurée. La courbe de modules de surface peut aider à identifier la nature linéaire – ou non – du comportement de la structure, voire la profondeur virtuelle du substratum pour les modélisations.

L'accès au module Alizé-rétrocalcul s'effectue alors par le biais de la commande Calculer/Alizé-rétrocalculs de la barre de menu principal (figure 11.1).

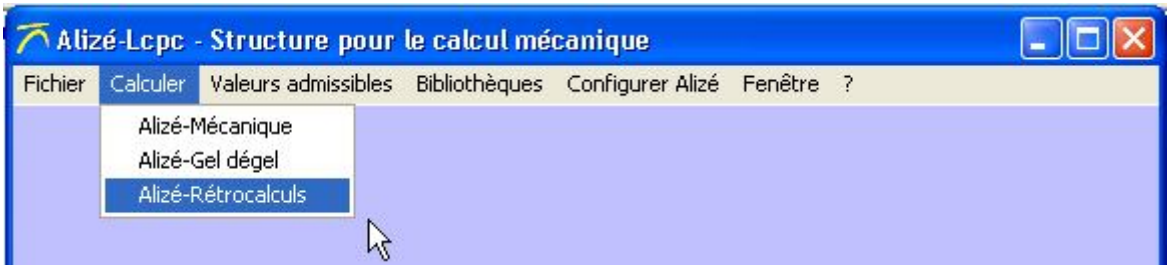


Figure 11.1: Commande d'accès au module Alizé-rétrocalcul

11.2- Préparation des données du module Alizé-rétrocalcul

Les données nécessaires à la réalisation d'un rétrocalcul à l'aide du module Alizé-rétrocalcul sont éditées et éventuellement modifiées à l'aide des onglets Données structure, Données chargement et Mesures déflexions de l'écran Alizé Données pour les-rétrocalculs.

Les données pour les rétrocalculs peuvent être enregistrées au format texte dans des fichiers Ascii portant l'extension .mwd. Selon l'option choisie lors de leur enregistrement, ces fichiers peuvent comporter simultanément l'ensemble des données relatives aux trois onglets Données structure, Données chargement et Mesures déflexions, ou les données relatives à deux ou un seul de ces trois onglets. La commande Fichier/Ouvrir de la barre de menu de la feuille Alizé Données pour les-rétrocalculs permet d'éditer à l'écran les données de calculs enregistrées dans un fichier de données.

Structure de chaussée

La structure de chaussée utilisée pour la réalisation des rétrocalculs peut être définie selon 2 modes :

- soit en suivant la procédure courante de création et/ou de modification des données Structures présentées en partie 4 «Données concernant la structure de chaussée» depuis l'écran général Alizé-Lcpc Structure pour le calcul mécanique. A l'aide de la commande Fichier/Ouvrir/Structure de ce même écran, il est également possible d'ouvrir une structure préalablement définie et sauvegardée dans un fichier de données Structure (extension .dat). Au lancement du module Alizé-rétrocalcul, une structure de chaussée éditée à l'écran général Alizé-Lcpc Structure pour le calcul mécanique. se retrouvera automatiquement exportée dans l'écran Alizé-rétrocalcul.

- soit depuis la fenêtre Alizé-Lcpc – Données pour les Rétrocalculs, en utilisant la commande Fichier/Nouvelles données de la barre de menu (cf. figure 11.2). Depuis cette même fenêtre, il est également possible d'ouvrir une structure préalablement définie et sauvegardée dans un fichier Données rétrocalcul (extension .mwd), à l'aide de la commande Fichier/Ouvrir (fichier de données).

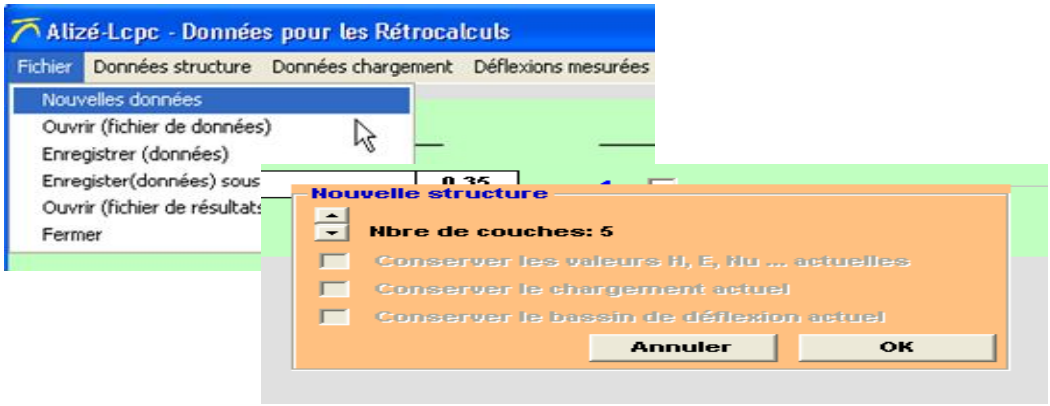


Figure 11.2: Création d'une structure pour les rétrocalculs depuis la feuille Alizé-Lcpc – Données pour les rétrocalculs

Les paramètres nombre de couches de matériaux, épaisseurs et coefficient de Poisson des différentes couches, nature des interfaces, sont des données fixées par l'utilisateur. Les modules d'élasticité sont fixés pour certains, et pour d'autres ces valeurs constituent les inconnues du problème inverse à résoudre.

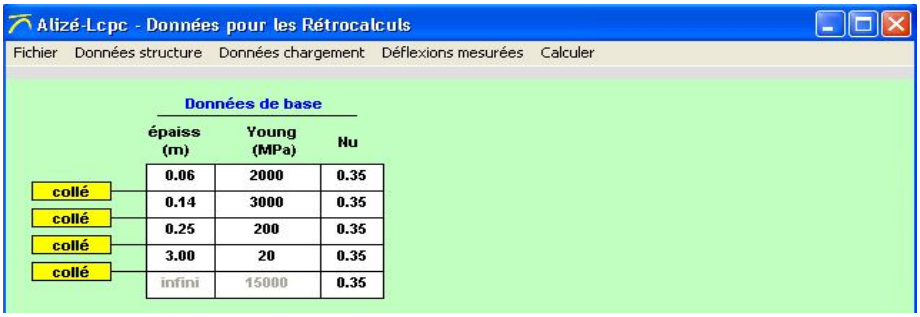


Figure 11.3: Données structure pour les rétrocalculs – option Modules de surface

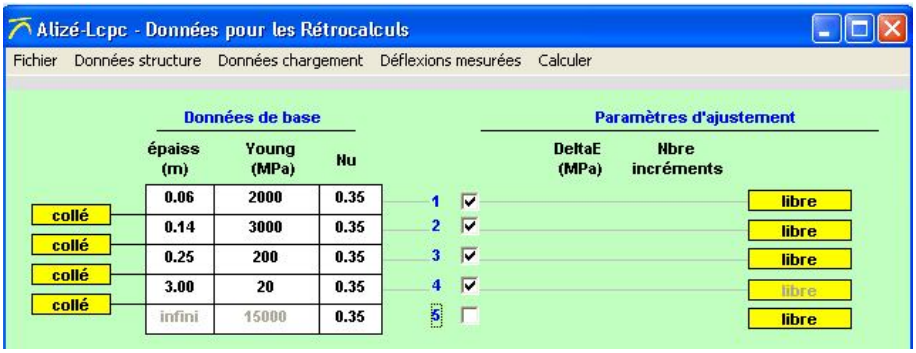


Figure 11.4: Données Structure pour les rétrocalculs – option Algorithme NewtonR

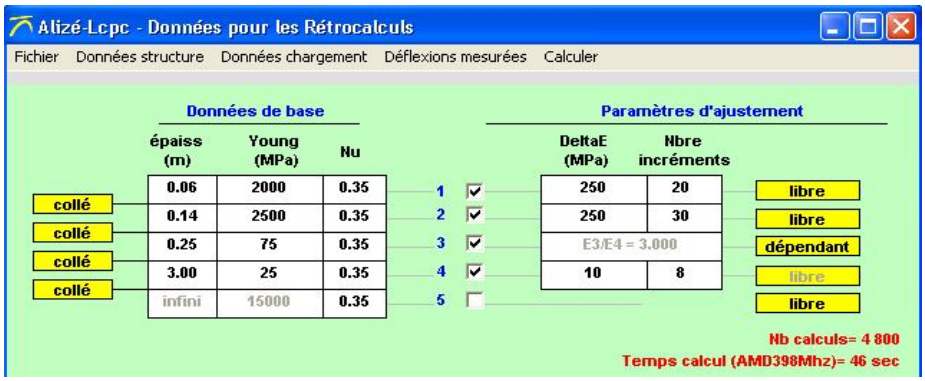


Figure 11.5: Données Structure pour les rétrocalculs – option Algorithme Grille

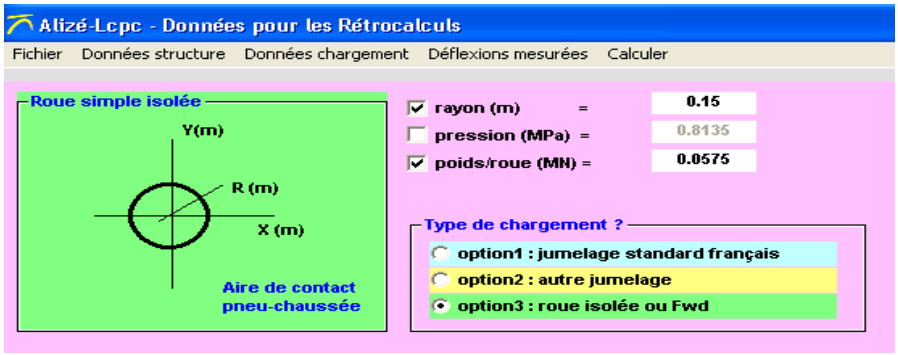


Figure 11.6: Données Chargement pour les rétrocalculs – Exemple FWD

Dans le premier cas (valeurs de modules bloquées), les valeurs connues de module sont introduites en s'aidant éventuellement de la bibliothèque des matériaux (Bibliothèque Alizé de matériaux standard ou utilisateur). Dans le second cas, il reste nécessaire de définir des valeurs initiales de module, utilisées :

- soit comme valeurs pour la première itération de rétrocalcul, dans le cas de calculs inverses selon l'algorithme d'optimisation automatique Newton-Raphson. Ces valeurs initiales de modules peuvent exercer une influence non négligeable sur les résultats des rétrocalculs. De plus, il n'y a pas, a priori, unicité de la solution d'un système d'équations surdimensionné de ce type. En conséquence, il est recommandé d'introduire des valeurs initiales de modules aussi proches que possible, par valeurs inférieures, des résultats des calculs, en procédant éventuellement par approche itérative «manuelle».

- soit comme valeurs minimales de la grille de modules pour chaque couche concernée, dans le cas de rétrocalculs de type grille.

Le même écran Fichier/Nouvelles données Onglet Données structure gère les données Structure pour les options Module de surface, Algorithme Newton-Raphson et Algorithme Grille. Le passage d'une option de calcul à une autre s'effectue par simple click-souris sur le bouton d'option correspondant au traitement sélectionné.

La figure 11.3 présente un exemple de données Structures pour un calcul de type Modules de surface. La figure 11.4 présente un exemple de données Structures pour un calcul de type Algorithme Newton. La figure 11.5 présente un exemple de données Structures pour un calcul de type Algorithme Grille.

Dans le cas de calculs de type Algorithme Newton ou Algorithme Grille, la case à cochée affectée à chaque couche permet de spécifier si le module de cette couche doit être l'objet ou non du rétrocalcul. Dans la négative (case non cochée), le module conservera la valeur initiale figurant dans le tableau Données de base.

Dans le cas de calculs de type Algorithme Newton, la case à cliquer libre/dépendant affectée à chaque couche permet d'imposer une condition de dépendance entre le module rétrocalculé de la couche concernée, et celui de la couche directement inférieure. Si l'option libre est choisie aucune dépendance n'est spécifiée. Si l'option dépendant est choisie, le rapport entre les modules des ces 2 couches sera maintenu constant. La constante est prise égale au rapport des modules initiaux des 2 couches, définis dans le tableau Données de base.

Données Chargements

Le chargement utilisé pour la réalisation des rétrocalculs est défini à l'aide de l'onglet Données chargement de l'écran Alizé-Lcpc – Données pour les Rétrocalculs (figure 11.6). Le chargement est composé soit d'un disque circulaire unique (cf. roue simple, plaque du chargement du FWD – Falling Weight Deflectometer …), soit d'un jumelage (déflectographe LPC, Curviamètre …), chargé par une pression statique verticale uniforme.

Données Déflexions mesurées

Le bassin des déflexions mesurées utilisé pour la réalisation des rétrocalculs est défini à l'aide de l'onglet Déflexions mesurées de l'écran Alizé-Lcpc – Données pour les Rétrocalculs (figure 11.7). Deux modes de saisie de bassins de déflexions mesurées sont possibles :

- Saisie manuelle d'un bassin de déflexion unique. Les paramètres à saisir sont :
- le nombre de points de mesures (nombre de géophone dans le cas de mesure FWD ou HWD),
- les coordonnées X,Y des points de mesures et les valeurs de déflexions mesurées exprimées en mm/100,
- La commande Dessiner actualise le dessin du profil de déflexion, selon l'axe XX ou YY sélectionné. Dans ce premier cas de bassin de déflexion unique, la lecture d'un fichier de données Rétrocalcul à l'aide de la commande Fichier/Ouvrir de la barre de menu de la feuille Alizé Données pour les-rétrocalculs permet l'édition directe à l'écran des données Déflexions enregistrées dans ce fichier.

- Lecture sur fichier de bassins de déflexion multiples. Cette option facilite l'exploitation séquentielle de bassins de déflexion multiples résultant de mesures effectuée sur un itinéraire. L'ouverture d'un fichier de mesures multiples s'effectue par la commande Multi-mesures de l'écran Déflexions mesurées de la feuille Alizé-Lcpc – Données pour les Rétrocalculs (figure 11.7). La structure du fichier de données au format texte est détaillée sur la figure 11.8.

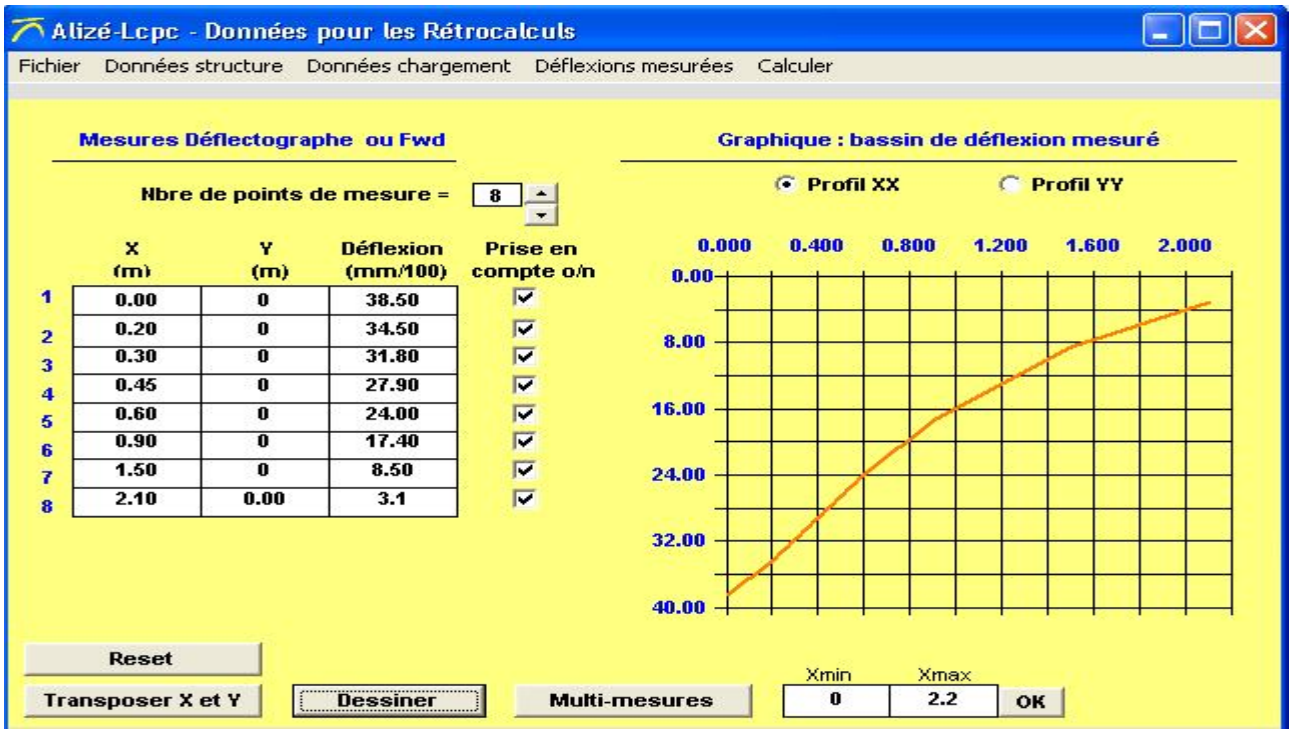


Figure 11.7: Données Déflexions mesurées pour les rétrocalculs

Le 09/06/2005

Mesures FWD - Société xxxxxx

RN xxx - Section SH6a, Trajectoire NE5-Rive

PR=35500 à PR=47450

Les mots-clef possibles sont les suivants: "Unite=" "Poids=" "EpaisseurJ=" "ModuleJ="

Poids en MN, Epaisseur en m, Module en Mpa

Ces différents mots-clef doivent être placés en début de ligne (J=no de la couche concernée)

Epaisseur1=	0.06	0.077	0.078	0.063	0.045	0.041	0.054	0.073	0.072	0.068	0.049	0.04	0.049	0.068	.../...
Epaisseur3=	0.154	0.156	0.162	0.167	0.172	0.175	0.178	0.18	0.18	0.185	0.177	0.174	0.17	0.165	.../...
Poids=	0.07111	0.076	0.0769	0.0778	0.0786	0.0792	0.0797	0.0799	0.0821	0.0799	0.0795	0.079	0.0784	0.0776	.../...
Unite=	micron														
Module2=	6200	6500	6500	6200	4500	4200	4500	4500	4500	4500	4500	6200	6200	6200	.../...
Module4=	50	55	55	30	28	28	30	30	30	30	30	30	55	55	.../...

Bassin de déflexions mesurés - 4ème Choc Niveau 3

X	PR=35500	PR=35550	PR=35600	PR=35650	PR=35700	PR=35750	PR=35800	PR=35850	PR=35900	PR=35950	PR=36000	PR=36050	PR=36100	PR=36150	.../...
0	826	831	836	840	842	846	847	845	851	850	857	857	855	863	.../...
0.2	753	756	760	762	764	766	768	769	770	773	773	774	776	777	.../...
0.3	711	714	717	719	720	723	723	725	726	728	729	729	731	732	.../...
0.45	645	648	650	652	652	655	655	657	657	659	660	660	661	663	.../...
0.6	580	582	583	586	585	587	587	589	589	590	592	592	592	594	.../...
0.9	458	459	460	461	461	462	462	462	463	463	464	464	464	466	.../...
1.5	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	266	265	266	.../...

Fin Fichier

Figure 11.8: Fichier de données Multi-mesures s mesurées pour les rétrocalculs

Le fichier Multi-mesures peut comporter jusqu'à 512 colonnes correspondant au maximum à 511 bassins de déflexion mesurés. Il comporte les données suivantes :

- Titre et identifiant de la série de mesures concernée (facultatif), sans limitation du nombre de lignes.
- Rappel-aide mémoire concernant les mots clé et commentaires éventuels (facultatif), sans limitation du nombre de lignes.
- Mot clé *EpaisseurJ=* (facultatif) : Il permet de prendre en compte des épaisseurs de la couche n°J variable le long de l'itinéraire de mesures, différentes pour toutes ou certaines de l'épaisseur figurant dans le tableau Données de base de l'onglet Onglet Données structure. Unité : m.
- Mot clé *ModuleJ=* (facultatif) : Il permet de prendre en compte des valeurs de modules bloquées (non concernées par l'ajustement de rétrocalcul) de la couche n°J variable le long de l'itinéraire de mesures, différentes pour toutes ou certaines de la valeur de module initiale figurant dans le tableau Données de base de l'onglet Onglet Données structure. Unité : MPa.
- Mot clé *Poids=* (facultatif) : Il permet de prendre en compte des valeurs de poids appliqué par la charge, variable selon le long de l'itinéraire de mesures, différentes pour toutes ou certaines de la valeur de charge définie par l'écran Données chargement. Unité : MN.

- Mot clé *Unité=* (facultatif) : Il concerne l'unité utilisée pour les valeurs de déflexion mesurée. Par défaut, ces valeurs s'expriment en mm/100. La chaine *Unité= micron* spécifie l'utilisation de l'unité micromètre (µm).
- Positionnement des points de mesures des déflexions (1ère colonne notée X). Unité : m.
- Bassins de déflexion rangés en colonnes verticales, jusqu'à 511 bassins exprimés en mm/100 ou en µm (voir mot clé Unité).
- Mot clé *Fin fichier* indiquant la fin de l'enregistrement.

Il est possible de visionner la totalité des bassins de déflexion contenus dans un fichier Multi-mesures en actionnant le curseur vertical prévu à cet effet. La case à cocher Echelle permet de plus de maintenir inchangée l'échelle des ordonnées afin de visualiser rapidement la variabilité des bassins de déflexion mesurés le long de l'itinéraire exploité.

Nota : en désignant comme fichier Multi-mesures un fichier de mesures Dynatest ou Carl Bro configuré au format texte (mesures FWD ou HWD), les bassins de déflexion contenus dans ce fichier sont directement transcrits dans un fichier Multi-mesures standard tel que décrit dans ce qui précède (cf. figure 11.8). Il est alors demandé de définir les niveaux de chocs et les parties d'itinéraire à consigner dans ce nouveau fichier Multi-mesures standard, cf. figure 11.9.

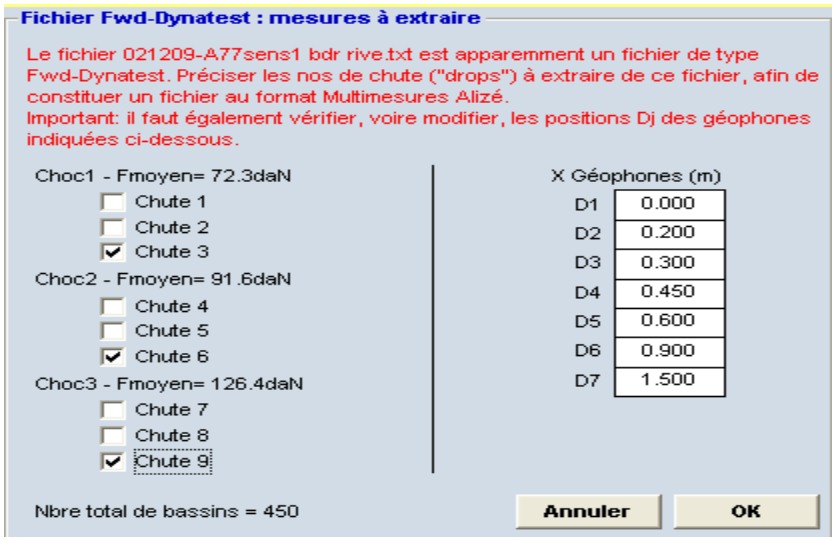

Fichier Fwd-Dynatest : mesures à extraire
Le fichier 021209-A77sens1 bdr rive.txt est apparemment un fichier de type Fwd-Dynatest. Préciser les nos de chute ("drops") à extraire de ce fichier, afin de constituer un fichier au format Multimesures Alizé.
Important: il faut également vérifier, voire modifier, les positions Dj des géophones indiquées ci-dessous.
Choc1 - Fmoyen= 72.3daN
Chute 1
Chute 2
Chute 3
Choc2 - Fmoyen= 91.6daN
Chute 4
Chute 5
Chute 6
Choc3 - Fmoyen= 126.4daN
Chute 7
Chute 8
Chute 9
X Géophones (m)
D1 0.000
D2 0.200
D3 0.300
D4 0.450
D5 0.600
D6 0.900
D7 1.500
Nbre total de bassins = 450
Annuler
OK

Figure 11.9: Importation des résultats de mesures FWD ou HWD à partir de fichier Dynatest ou Carl Bro – Exemple

Lancement des rétro-calculs

Le lancement des rétrocalculs s'effectue à l'aide de la commande Calculer de la barre de menu de la feuille Alizé-Lcpc – Données pour les Rétrocalculs, ou à l'aide du bouton de commande Calculer inclus dans cette même feuille.

11.2- Alizé-rétrocalcul : résultats des calculs

La figure 11.10 présente un exemple d'écran de résultats du module Rétrocalculs pour un calcul de type Modules de surface. La figure 11.11 présente un exemple d'écran de résultats pour un calcul de type Algorithme NewtonR. La figure 11.12 présente un exemple d'écran de résultats de données Structures pour un calcul de type Algorithme Grille.

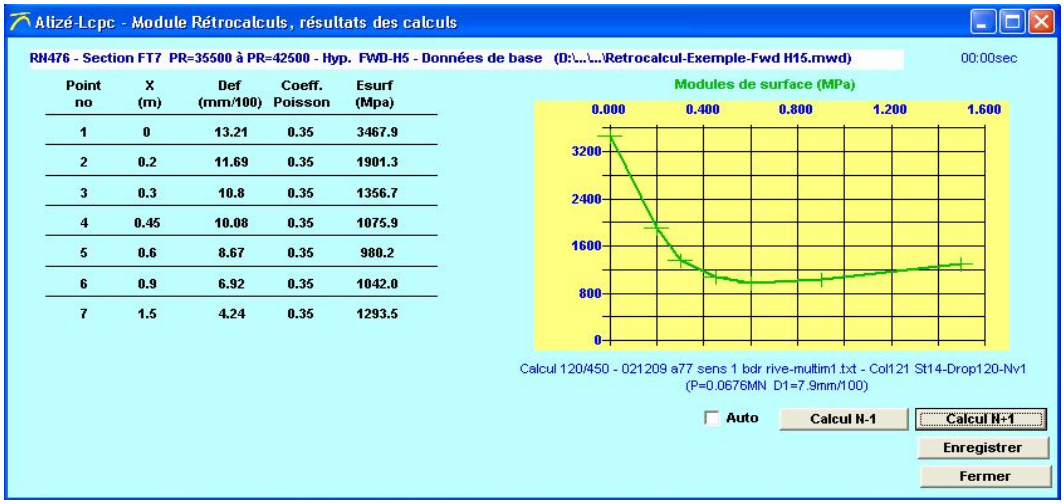

Alizé-Lcpc - Module Rétrocalculs, résultats des calculs
RN476 - Section FT7 PR=35500 à PR=42500 - Hyp. FWD-H5 - Données de base (D:\...\...\Retrocalcul-Exemple-Fwd H15.mwd)
00:00sec
Point no | X (m) | Def (mm/100) | Coeff. Poisson | Esurf (Mpa)
1 | 0 | 13.21 | 0.35 | 3467.9
2 | 0.2 | 11.69 | 0.35 | 1901.3
3 | 0.3 | 10.8 | 0.35 | 1356.7
4 | 0.45 | 10.08 | 0.35 | 1075.9
5 | 0.6 | 8.67 | 0.35 | 980.2
6 | 0.9 | 6.92 | 0.35 | 1042.0
7 | 1.5 | 4.24 | 0.35 | 1293.5
Modules de surface (MPa)
0.000 0.400 0.800 1.200 1.600
3200 2400 1600 800 0
Calcul 120/450 - 021209 a77 sens 1 bdr rive-multim1.txt - Col121 St14-Drop120-Nv1
(P=0.0676MN D1=7.9mm/100)
Auto
Calcul N-1
Calcul N+1
Enregistrer
Fermer

Figure 11.10: Ecran de résultats des rétrocalculs – Option Modules de surface, exemple

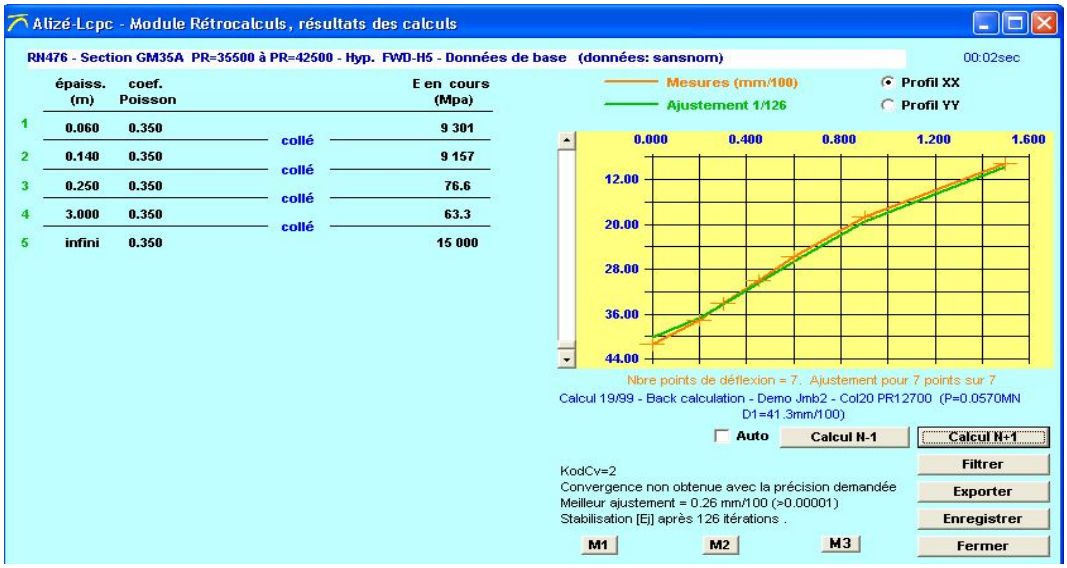

Alizé-Lcpc - Module Rétrocalculs, résultats des calculs
RN476 - Section GM35A PR=35500 à PR=42500 - Hyp. FWD-H5 - Données de base (données: sansnom)
00:02sec
épaiss. (m) | coef. Poisson | E en cours (Mpa)
1 | 0.060 | 0.350 | collé | 9 301
2 | 0.140 | 0.350 | collé | 9 157
3 | 0.250 | 0.350 | collé | 76.6
4 | 3.000 | 0.350 | collé | 63.3
5 | infini | 0.350 | | 15 000
Mesures (mm/100)
Ajustement 1/126
Profil XX
Profil YY
0.000 0.400 0.800 1.200 1.600
12.00 20.00 28.00 36.00 44.00
Nbre points de déflexion = 7. Ajustement pour 7 points sur 7
Calcul 19/99 - Back calculation - Demo Jmb2 - Col20 PR12700 (P=0.0570MN
D1=41.3mm/100)
Auto
Calcul N-1
Calcul N+1
Filtrer
KodCv=2
Convergence non obtenue avec la précision demandée
Meilleur ajustement = 0.26 mm/100 (>0.00001)
Stabilisation [Ej] après 126 itérations .
Exporter
Enregistrer
M1
M2
M3
Fermer

Figure 11.11: Ecran de résultats des rétrocalculs – Option Algorithme Newton-Raphson, exemple

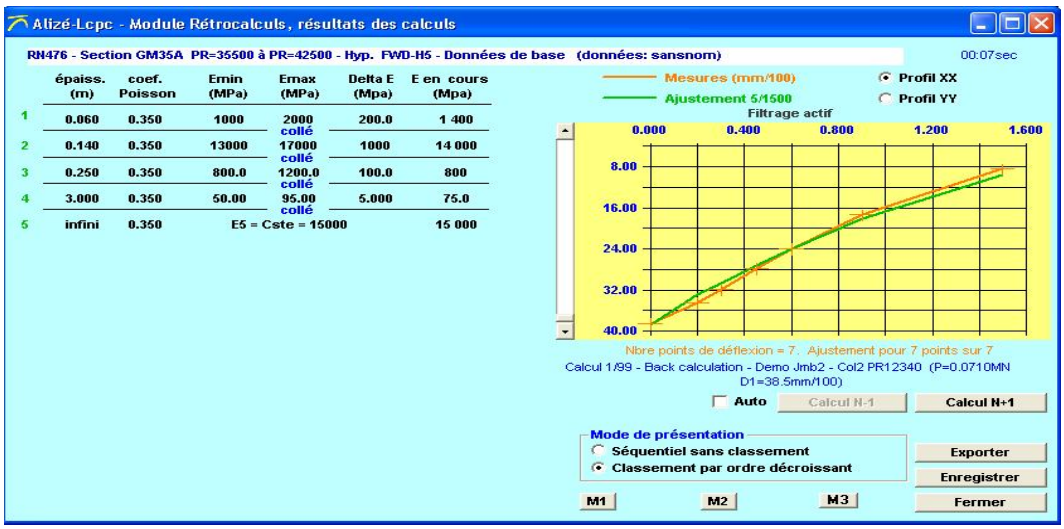

Alizé-Lcpc - Module Rétrocalculs, résultats des calculs
RN476 - Section GM35A PR=35500 à PR=42500 - Hyp. FWD-H5 - Données de base (données: sansnom)
00:07sec
épaiss. (m) | coef. Poisson | Emin (MPa) | Emax (MPa) | Delta E (Mpa) | E en cours (Mpa)
1 | 0.060 | 0.350 | 1000 | 2000 collé | 200.0 | 1 400
2 | 0.140 | 0.350 | 13000 | 17000 collé | 1000 | 14 000
3 | 0.250 | 0.350 | 800.0 | 1200.0 collé | 100.0 | 800
4 | 3.000 | 0.350 | 50.00 | 95.00 collé | 5.000 | 75.0
5 | infini | 0.350 | E5 = Cste = 15000 | | | 15 000
Mesures (mm/100)
Ajustement 5/1500
Filtrage actif
Profil XX
Profil YY
0.000 0.400 0.800 1.200 1.600
8.00 16.00 24.00 32.00 40.00
Nbre points de déflexion = 7. Ajustement pour 7 points sur 7
Calcul 1/99 - Back calculation - Demo Jmb2 - Col2 PR12340 (P=0.0710MN
D1=38.5mm/100)
Auto
Calcul N-1
Calcul N+1
Mode de présentation
Séquentiel sans classement
Classement par ordre décroissant
Exporter
Enregistrer
M1
M2
M3
Fermer

Figure 11.12: Ecran de résultats des rétrocalculs – Option Algorithme Grille, exemple

L'écran de présentation des résultats des Rétrocalcul propose les fonctionnalités suivantes :

- Valeurs des modules rétrocalculés : elles figurent dans le tableau reproduisant la structure de chaussée, colonne *Esurf* (Modules de surface) ou *E en cours* (algorithmes NewtonR et Grille). Les valeurs affichées correspondent aux options et aux réglages sélectionnés. Dans les cas des algorithmes NewtonR et Grille, ces valeurs peuvent donc différer de celles de l'ajustement optimum de modules, en fonction du réglage du curseur vertical définissant l'itération de calcul à afficher.
-
- Option Modules de surface : le graphique représente le profil de module de surface, en fonction de la distance à l'axe central du chargement.
-
- Option algorithmes NewtonR et Grille: le graphique représente d'une part le bassin de déflexion mesuré, et d'autre par le bassin de déflexion calculé, pour le jeu de module correspondant aux options et aux réglages sélectionnés.
-
- Enregistrement des résultats des rétrocalculs sur fichier texte au format Ascii : il s'effectue à l'aide de la commande *Enregistrer*. La commande *Exporter* déclenche la création d'un fichier de données Structures (extension .dat) bâti sur la base des données structurelles Epaisseurs, Coefficient de Poisson, Nature des interfaces, et du jeu de modules rétrocalculés affichés, fonction des options et réglages sélectionnés.
-

L'utilisation de la commande Filtrer est illustrée par la figure 11.13. L'option Filtrage permet de rejeter les jeux de modules rétrocalculés, dont au moins une valeur sort de la plage définies par les seuils de valeurs minimale et maximale spécifiées par l'utilisateur.

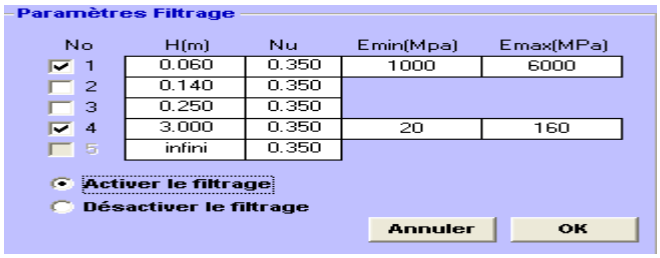


Figure 11.13: Ecran de résultats des rétrocalculs – Définition des paramètres de filtrage (facultatif)

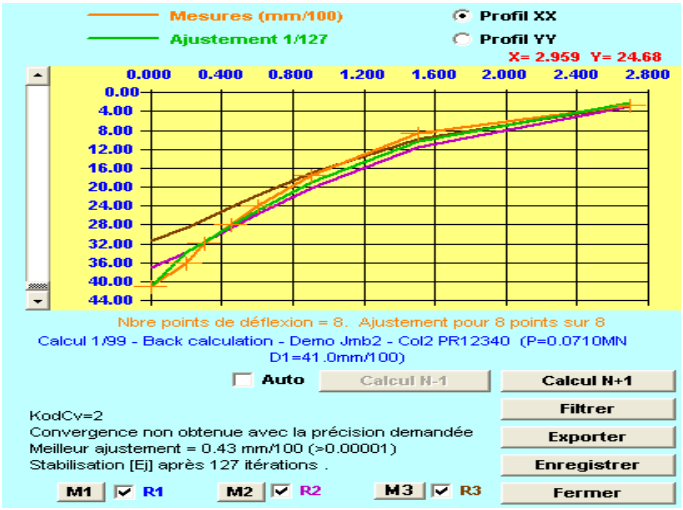

Mesures (mm/100)
Ajustement 1/127
Profil XX
Profil YY
X= 2.959 Y= 24.68
0.000 0.400 0.800 1.200 1.600 2.000 2.400 2.800
0.00 4.00 8.00 12.00 16.00 20.00 24.00 28.00 32.00 36.00 40.00 44.00
Nbre points de déflexion = 8. Ajustement pour 8 points sur 8
Calcul 1/99 - Back calculation - Demo Jmb2 - Col2 PR12340 (P=0.0710MN D1=41.0mm/100)
Auto
Calcul N-1
Calcul N+1
KodCv=2
Convergence non obtenue avec la précision demandée
Meilleur ajustement = 0.43 mm/100 (>0.00001)
Stabilisation [Ej] après 127 itérations .
Filtrer
Exporter
Enregistrer
Fermer
M1 R1 M2 R2 M3 R3

Figure 11.14: Ecran de résultats des rétrocalculs – Commande de mémorisation des bassins calculés permettant leur rappel lors d'exploitations ultérieures

Annexe A1 : Principes du dimensionnement mécanique des chaussées

A1.1- Cadre général du dimensionnement rationnel des chaussées

La vocation première de la méthode rationnelle est d'encadrer les opérations de dimensionnement des chaussées neuves routières et autoroutières, pour toutes les classes de trafic (des chaussées à faible trafic aux chaussées à fort trafic). Dans ce contexte d'application, la démarche du dimensionnement, l'ensemble de ses hypothèses et les outils à mettre en œuvre sont totalement explicités.

Par ailleurs, la démarche générale du dimensionnement rationnel fait l'objet de diverses transpositions, visant son adaptation à d'autres types de dimensionnement : autres trafics (par exemple porteurs industriels, charges aéronautiques, …), autres problématiques de dimensionnement (par exemple renforcement de chaussées endommagées, …). Le logiciel Alizé s'applique également à ces utilisations particulières, sans que ses modalités de mise en ouvre soient, dans ce cas, totalement encadrées par une méthode officielle.

Dans tous les cas, le logiciel facilite la réalisation pratique des calculs numériques nécessaires au dimensionnement des structures de chaussées. Cependant, le dimensionnement des structures de chaussées déborde largement ces aspects numériques. Il reste une affaire de spécialiste de la mécanique des chaussées, auquel le logiciel n'a, en aucune façon, l'ambition de se substituer.

A1.2- Démarche générale du dimensionnement rationnel des chaussées

En utilisation courante, la démarche du dimensionnement rationnel s'articule selon les trois phases principales suivantes :

A1-2.1- Le choix du type de structure et des matériaux qui la composent

Ce choix est fonction du cadre et des spécificités du projet étudié. La structure de chaussée peut être de type flexible, bitumineuse épaisse, semi-rigide, rigide, mixte ou inverse. A chaque type de structure est associé l'emploi possible de matériaux, répartis eux même en cinq familles : les matériaux hydrocarbonés, les matériaux traités aux liants hydrauliques, les bétons, les matériaux non traités et les sols.

A1.2.2- La détermination des sollicitations admissibles dans les différents matériaux

Le calcul des sollicitations admissibles dans les différents matériaux constituant la structure de chaussée découle des deux modèles d'endommagement sur lesquels est fondée la méthode rationnelle :

A1.2.2.1- pour les matériaux traités (hydrocarbonés, traités aux liants hydrauliques et les bétons) : le modèle adopté est le modèle d'endommagement par fatigue sous les sollicitations répétées de traction par flexion exercées par le trafic (modèle de Wöhler). La figure A1-1 montre une chaussée endommagée par ce type de fissuration. La sollicitation admissible est une fonction décroissante avec le nombre de chargements appliqués par le trafic, elle s'exprime sous la forme générale :

$$Stadm = AxPxN^{b}$$

A et b = paramètres descriptifs du comportement à la fatigue du matériau, résultant d'essais de fatigue sur éprouvettes en laboratoire (b<0).

P = coefficients additionnels pour la prise en compte de différents facteurs, non reproduits par les résultats bruts des essais de fatigue en laboratoire.

N = nombre de passages des charges roulantes (ie. trafic cumulé) sur toute la durée de service assignée à la chaussée.

A1.2.2.2- pour les matériaux non traités (graves non traitées et sols) : le modèle adopté est le modèle d'endommagement par accumulation des déformations plastiques irréversibles (orniérage), résultant des sollicitations de compression verticale exercées par le trafic. L'expression des sollicitations de compression verticale admissibles ne découle pas directement d'essais en laboratoire, mais de considérations d'origine empirique :

$$Szadm = AxN^{b}$$

A et b = paramètres d'origine empirique, indépendants du matériau non traité considéré, mais variant en pratique selon la nature de la chaussée et l'intensité du trafic (chaussée neuve ou renforcement, trafic faible ou fort, …).

N = nombre de passages des charges roulantes – idem §A1.2.2.1.

Figure A1-1 : Chaussée à assise traitée aux liants hydrauliques endommagée par fissuration de fatigue

A1.2.3- La détermination des épaisseurs des différentes couches de matériaux.

Les sollicitations créées par les charges roulantes dans les différentes couches de matériaux sont calculées à l'aide du modèle multicouches élastique linaire de Burmister (cf. §A1.3). $Smax_j$ désigne la sollicitation la plus élevée, au sens des critères d'endommagement définis plus haut, supportée par la couche de matériau n°j.

La détermination de l'épaisseur de chaque couche de matériau repose sur la vérification du critère de non-rupture du matériau considéré pendant la durée de service de la chaussée, à savoir :

$$Smax_j \leq Sadm_j$$

$Smax_j$: sollicitation maximale créée par le trafic dans la couche de matériau n°j, au sens du mode d'endommagement attaché au type de matériau considéré (traction horizontale par flexion ou compression verticale, cf. §A1.2.2.1) ;

$Sadm_j$: sollicitation admissible par le matériau (cf. §A1.2.2.2).

La détermination finale des épaisseurs H_j des différentes couches de matériaux constituant la structure de chaussée n'a pas, en général, de solution directe (absence de solution explicite $\{H_j = f(N)\}$). Elle s'effectue le plus souvent suivant une démarche itérative inverse, schématisée sur la figure A1-3.

La solution numérique au problème posé n'est pas, par ailleurs, unique. Le choix final fait aussi appel à des considérations technologiques (par exemple, épaisseurs minimales et maximales des couches suivant le matériau, suivant la classe de trafic, etc.), et empiriques (par exemple, épaisseurs des couches de surface).

Figure A1-2 : Carotte sur chaussée endommagée par fissuration de fatigue

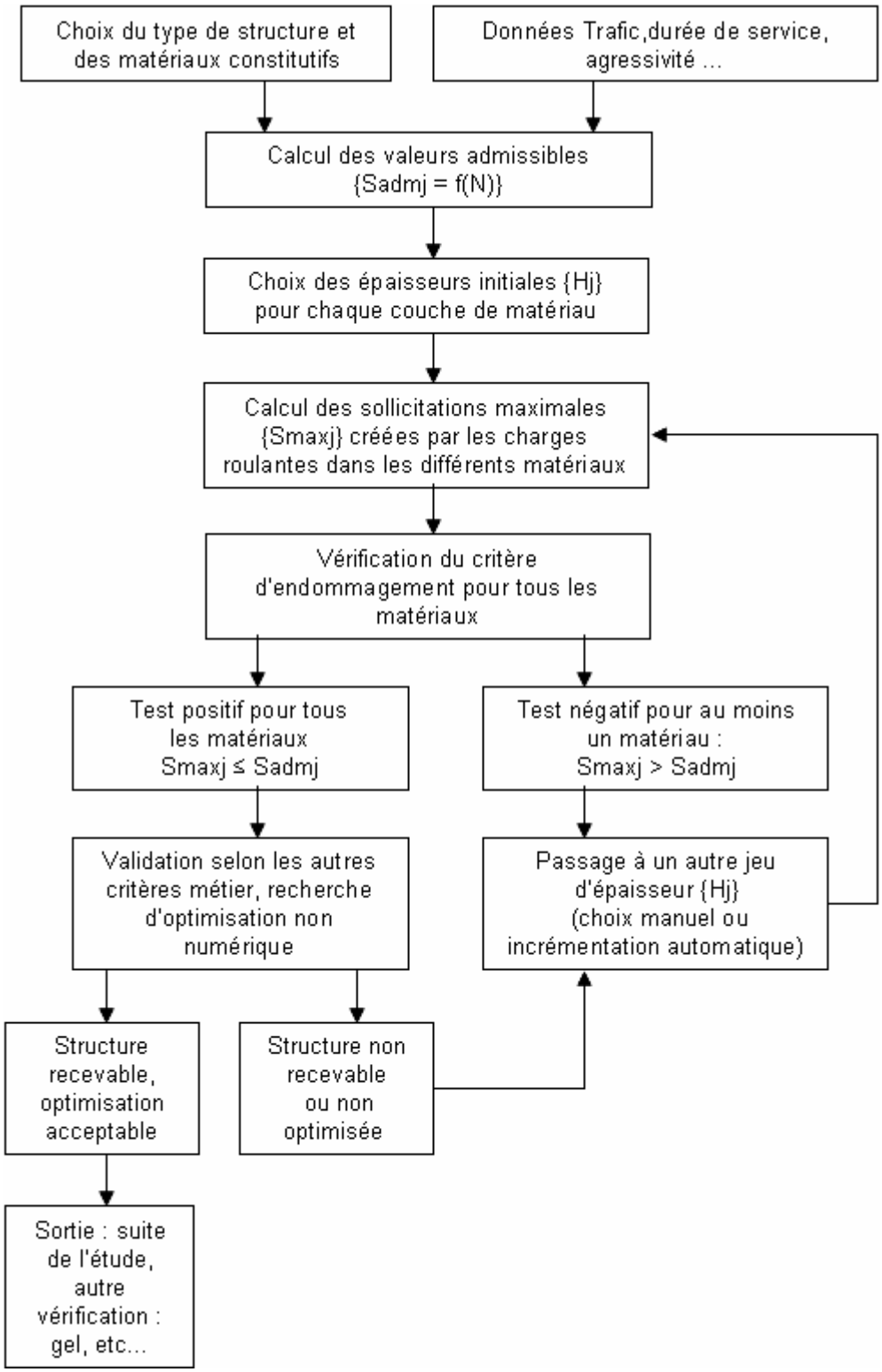

Choix du type de structure et des matériaux constitutifs
Données Trafic,durée de service, agressivité ...
Calcul des valeurs admissibles {Sadmj = f(N)}
Choix des épaisseurs initiales {Hj} pour chaque couche de matériau
Calcul des sollicitations maximales {Smaxj} créées par les charges roulantes dans les différents matériaux
Vérification du critère d'endommagement pour tous les matériaux
Test positif pour tous les matériaux Smaxj ≤ Sadmj
Test négatif pour au moins un matériau : Smaxj > Sadmj
Validation selon les autres critères métier, recherche d'optimisation non numérique
Passage à un autre jeu d'épaisseur {Hj} (choix manuel ou incrémentation automatique)
Structure recevable, optimisation acceptable
Structure non recevable ou non optimisée
Sortie : suite de l'étude, autre vérification : gel, etc...

Figure A1.3 : Démarche générale du dimensionnement mécanique

A1.3- Le modèle de calcul mécanique

Le moteur de calcul permet la détermination des sollicitations créées par le trafic dans les différentes couches de matériaux constituant le corps de la chaussée. Il met en œuvre le modèle de Burmister.

Ce modèle s'appuie sur la modélisation mécanique de la structure par un massif semi-infini, constitué d'une superposition de couches de matériau d'épaisseur constante, à comportement élastique linéaire isotrope (figure A1-4). Les paramètres descriptifs du comportement mécanique de chaque matériau sont donc au nombre de deux : le module de déformation E et coefficient de Poisson ¤.

Chaque interface entre couches adjacentes peut être prise collée, glissante ou semi-collée.

Le chargement appliqué par les charges roulantes à la surface de la chaussée est représenté par un ensemble de disques circulaires, chargé chacun par une pression verticale uniforme et statique.

Toutes les combinaisons de charges élémentaires circulaires de ce type sont possibles. Ceci permet de reproduire les silhouettes d'essieu, de bogie, de véhicule ou d'ensemble de véhicules les plus diverses.

Dans les opérations de dimensionnement courant, un chargement unique, désigné chargement de référence, est en général appliqué à la surface du modèle. Ce chargement de référence est propre au cadre dans lequel la méthode de dimensionnement rationnel est appliquée.

Par exemple, le jumelage de 65 kN (3,25 kN par roue, pression de contact 6,62 Mpa) constitue sauf cas particulier, la charge de référence pour le dimensionnement des structures de chaussée des réseaux routiers et autoroutiers français. Dans certaines applications de dimensionnement de chaussés aéronautiques, la charge de référence sera la roue isolée de charge 30 kN.

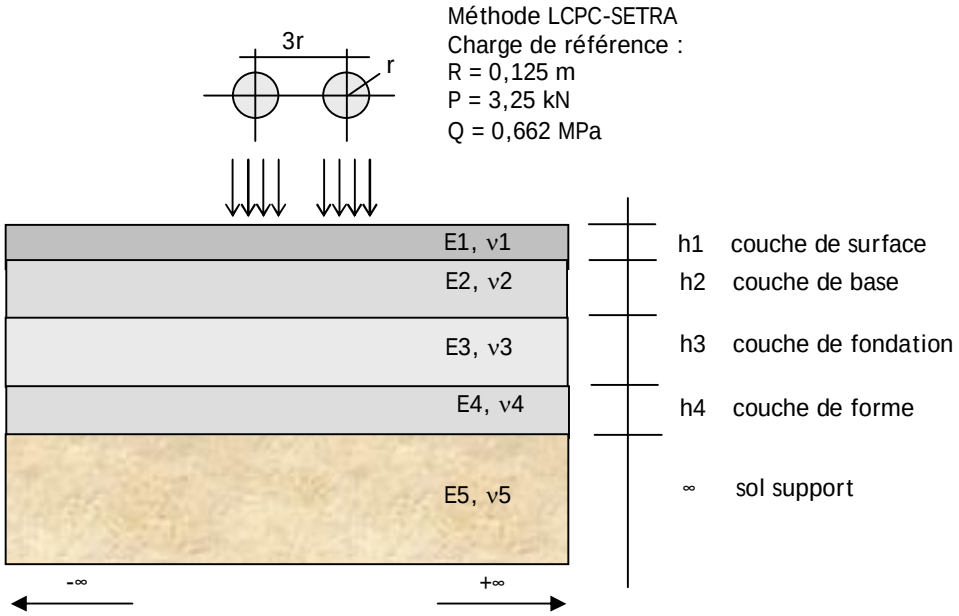


Figure A1.4 : Moteur de calcul Alizé – problème traité, exemple

Le modèle de calcul donne accès, potentiellement, aux tenseurs complets de contraintes et de déformations, ainsi qu'aux trois composantes de déplacement, en tout point de la structure. En utilisation courante, les résultats du modèle strictement nécessaires au dimensionnement se réduisent à la sollicitation maximale $Smax_j$ supportée par chaque couche de matériau d'indice j (j = 1 pour la couche de surface à j = nc pour le sol support). Suivant la nature du matériau concerné, $Smax_j$ représente la grandeur suivante :

Nature de matériau n°j	***Définition de $Smax_j$***
Matériau hydrocarboné	Valeur de la déformation d'extension horizontale maximale ¤$tmax_j$
Matériau traité au liant hydraulique et béton	Valeur de la contrainte de traction horizontale maximale ¤$tmax_j$
Matériau non-traité et sol	Valeur de la déformation de compression verticale maximale ¤$tmax_j$

Annexe A2 : Principes de la vérification au gel-dégel des chaussées

A2.1- Généralités

Sur une large partie du territoire français, la vérification au gel-dégel est déterminante pour le dimensionnement des chaussées à faible et moyen trafic, si l'on entend assurer la continuité de service à l'usager en évitant la pose de barrières de dégel. Jusqu'à la fin des années 1970, cette vérification s'est effectuée en s'imposant comme condition de dimensionnement la relation empirique Hng > k x H, où Hng désignait l'épaisseur totale des couches non gélives de la chaussée et H la profondeur de gel maximale dont on désirait se prémunir (avec k voisin de 80%). Au milieu des années 70, le Lcpc et le Sétra ont entrepris le développement d'une nouvelle méthode de vérification au gel-dégel des structures de chaussées, relevant d'une démarche rationnelle en continuité avec la démarche du dimensionnement mécanique. Elle se distingue de la méthode empirique précédente sur les points suivants :

- une meilleure traduction de la sensibilité au gel des sols, à partir de l'essai de gonflement au gel en laboratoire ;
- une meilleure caractérisation de la rigueur de l'hiver dont on désire se prémunir (hiver de référence) par l'utilisation de l'indice de gel en remplacement de la profondeur de gel ;
- une meilleure prise en compte des parts respectives de la protection thermique du sol et de la résistance mécanique de la chaussée ;
- une démarche de vérification transposable à d'autres contextes que celui du réseau routier national, ce que ne permettait guère le caractère empirique de l'ancienne méthode.

Le module Alizé-gel met en œuvre cette méthode rationnelle de vérification au gel-dégel des chaussées.

A2.2- Comportement des sols au gel et au dégel

Lorsqu'ils sont portés à des températures négatives, les sols peuvent être classés en deux grandes catégories :

- les sols non gélifs qui se congèlent en masse. Leur structure est inchangée et leur teneur en eau ne varie guère. Seul un léger gonflement dû à l'augmentation de volume de l'eau faisant glace peut être noté, l'ampleur de ce gonflement dépendant du degré de saturation du sol.
- les sols gélifs qui se congèlent en présentant une modification de leur structure par formation de lentilles de glace. Ceci se traduit par une augmentation de leur teneur en eau par succion, et un gonflement important non expliqué par la seule augmentation de volume liée à la transformation de l'eau en glace. L'importance du développement des lentilles de glace dépend bien sûr des conditions d'alimentation en eau du front de gel, de la teneur en eau initiale au début de la congélation, de la position de la nappe phréatique, des pénétrations possibles d'eau à travers la chaussée et les accotements, et donc des conditions de drainage de la structure.

Lorsque survient la phase de dégel, les sols non gélifs retrouvent directement, sauf exception assez rare, leur teneur en eau de départ, et par conséquent leurs propriétés mécaniques initiales. Par contre, les sols gélifs se trouvent alors à une teneur en eau beaucoup plus élevée qu'à l'état initial (avant l'arrivée de la période de gel), en raison de la fonte des lentilles de glace. La teneur en eau en phase de dégel peut même parfois dépasser la limite de liquidité du sol. Ainsi, un sol gélif support de chaussée peut perdre partiellement ou totalement ses capacités de portance en phase de dégel.

La figure A2-1 illustre les désordres présentés par une chaussée à l'issue d'une phase intense de gel, puis de dégel qu'elle na pas supportée.

Figure A2-1 : Dégradation d'une chaussée sous l'effet du gel-dégel

A2.3- Place de la vérification au gel/dégel dans l'étude de dimensionnement

La vérification au gel/dégel s'effectue en fin de démarche de dimensionnement : la structure de chaussée a été déterminée et les épaisseurs des couches ont été fixées pour répondre en conditions normales, aux exigences du trafic. La vérification au gél-dégel consiste alors à s'assurer que : en phase de dégel correspondant à un hiver de référence choisi, les matériaux de chaussée peuvent supporter l'augmentation momentanée des sollicitations qu'elles supportent de la part du trafic. Si la vérification est négative, il faut :

- soit à adopter une autre structure (traitement du support, épaisseur plus importante du corps de chaussée ou de la couche de forme, changement de matériaux),
- soit à envisager des interruptions de service avec la pose de barrières de dégel.

Figure A2-2 Gonflement d'un échantillon de craie sous l'effet du gel

A2.4- Quelques définitions et notations

Indice de gel :
L'indice de gel atmosphérique est la somme cumulée des températures moyennes journalières de l'air sous abri calculée à partir du premier jour pour lequel la température moyenne devient négative, exprimée en valeur absolue, unité °C.jour. On définit :

- Iatm l'indice de gel atmosphérique ;
- Is l'indice de gel en surface de la chaussée ;
- It l'indice de gel transmis à la base du corps de chaussée.

Quantité de gel :
Elle correspond à la racine carrée de l'indice de gel (unité [°C.j]1/2). On l'utilise pour quantifier le gel à différents niveaux dans la structure. On définit :

- Qatm le quantité de gel atmosphérique ;
- Qs la quantité de gel en surface de la chaussée ;
- Qt (ou Qpf) la quantité de gel transmise à la base du corps de chaussée (ou au sommet de la plate-forme).

A2.5- Démarche générale de la vérification au gel-dégel

Seules les chaussées reposant sur des matériaux sensibles au gel doivent faire l'objet d'une vérification au gel/dégel.

La figure A2-3 représente le déroulement général d'une étude de vérification au gel-dégel. Cette vérification consiste à comparer :

- l'indice de gel atmosphérique de référence IR du projet, caractérisant la rigueur de l'hiver dont on souhaite protéger la chaussée,
- et l'indice de gel atmosphérique admissible IA que peut supporter la chaussée. IA est évalué en fonction de la sensibilité au gel du sol support, de la protection thermique et de l'apport mécanique du corps de chaussée.

Si IA > IR, la chaussée est vérifiée au gel-dégel, elle ne devrait pas subir de dégâts pour les hivers d'indice de gel inférieur ou égal à IR. Dans le cas contraire, on doit envisager de modifier la structure de chaussée ou de plate-forme, ou accepter la pose de barrières de dégel.

Hiver de référence :
L'hiver de référence et l'indice de gel de référence IR qui en découle sont des données, fonction de la politique suivie par le gestionnaire du réseau. De ce choix dépend la fréquence de pose de barrières de dégel, donc d'interruption de la circulation sur l'itinéraire. Sur le réseau national, le Catalogue des chaussées neuves Lcpc-Sétra considère deux situations caractéristiques :

- l'hiver exceptionnel, correspondant au plus fort hiver rencontré entre 1951 et 1997,
- l'hiver rigoureux non exceptionnel, qui est l'hiver décennal sur cette même période.
-

Le Catalogue de 1998 fournit de plus les valeurs des indices de gel hivers exceptionnels et rigoureux non exceptionnels déterminés pour les principales stations météorologiques françaises sur la période 1951–1997.

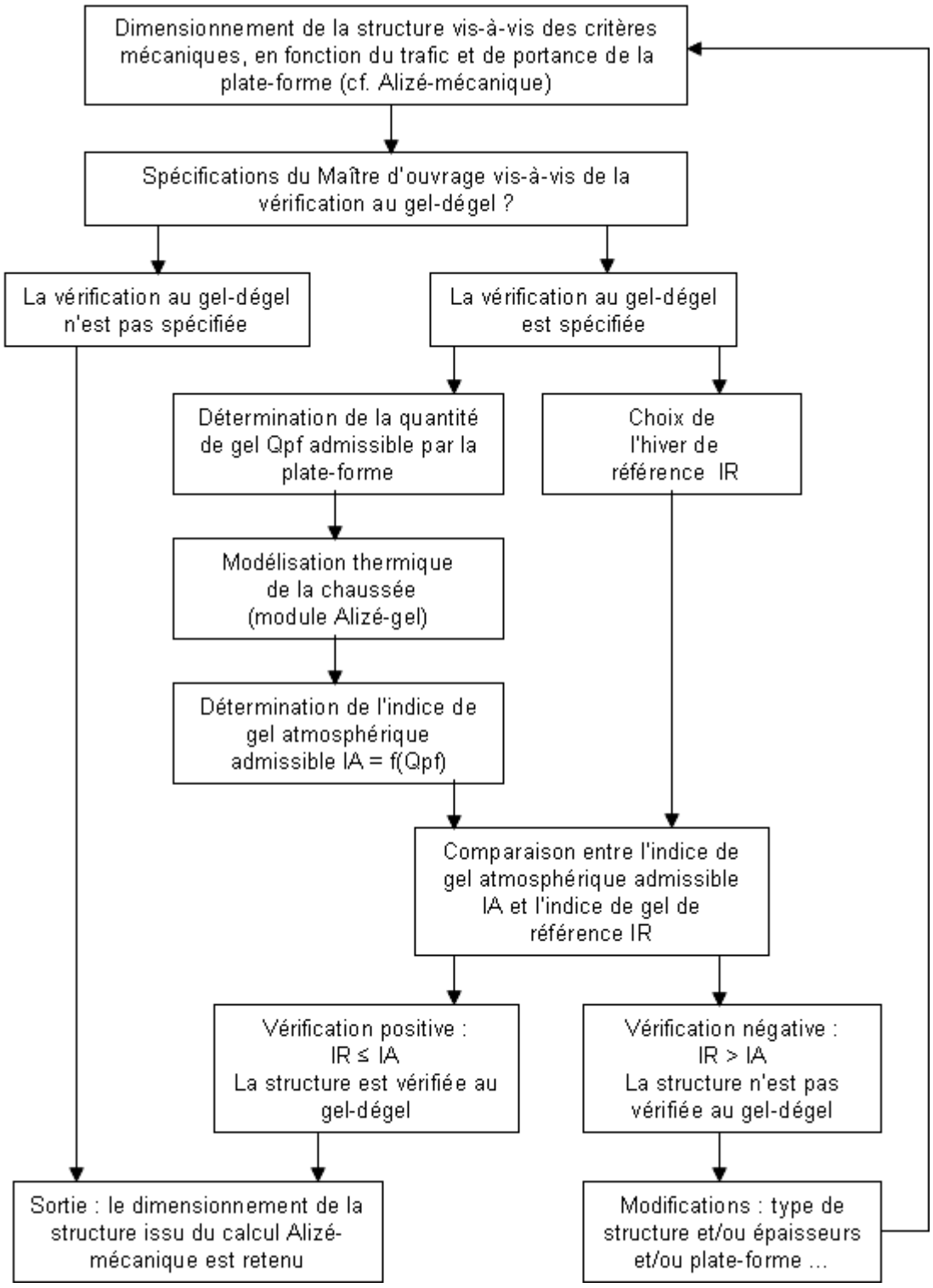

Dimensionnement de la structure vis-à-vis des critères mécaniques, en fonction du trafic et de portance de la plate-forme (cf. Alizé-mécanique)
Spécifications du Maître d'ouvrage vis-à-vis de la vérification au gel-dégel ?
La vérification au gel-dégel n'est pas spécifiée
La vérification au gel-dégel est spécifiée
Détermination de la quantité de gel Qpf admissible par la plate-forme
Choix de l'hiver de référence IR
Modélisation thermique de la chaussée (module Alizé-gel)
Détermination de l'indice de gel atmosphérique admissible IA = f(Qpf)
Comparaison entre l'indice de gel atmosphérique admissible IA et l'indice de gel de référence IR
Vérification positive : IR ≤ IA La structure est vérifiée au gel-dégel
Vérification négative : IR > IA La structure n'est pas vérifiée au gel-dégel
Sortie : le dimensionnement de la structure issu du calcul Alizé-mécanique est retenu
Modifications : type de structure et/ou épaisseurs et/ou plate-forme ...

Figure A2-3 : Vérification des chaussées au gel-dégel, déroulement général de l'étude

Caractérisation de la sensibilité au gel des matériaux :
La sensibilité au phénomène de cryosuccion des sols et matériaux granulaires est appréciée par l'essai de gonflement au gel (cf. figure A2-4), objet de la norme NF P 98-234-2.

Figure A2-4 : Matériel pour l'essai de gonflement au gel 0/5 mm du du Laboratoire Régional de l'Equipement de Nancy

Etapes du calcul de l'indice de gel admissible IA de la chaussée
La détermination de l'indice de gel IA admissible par la chaussée s'effectue en cinq étapes, en remontant du sol support vers la surface de la chaussée, comme illustré par la figue A2-5 :

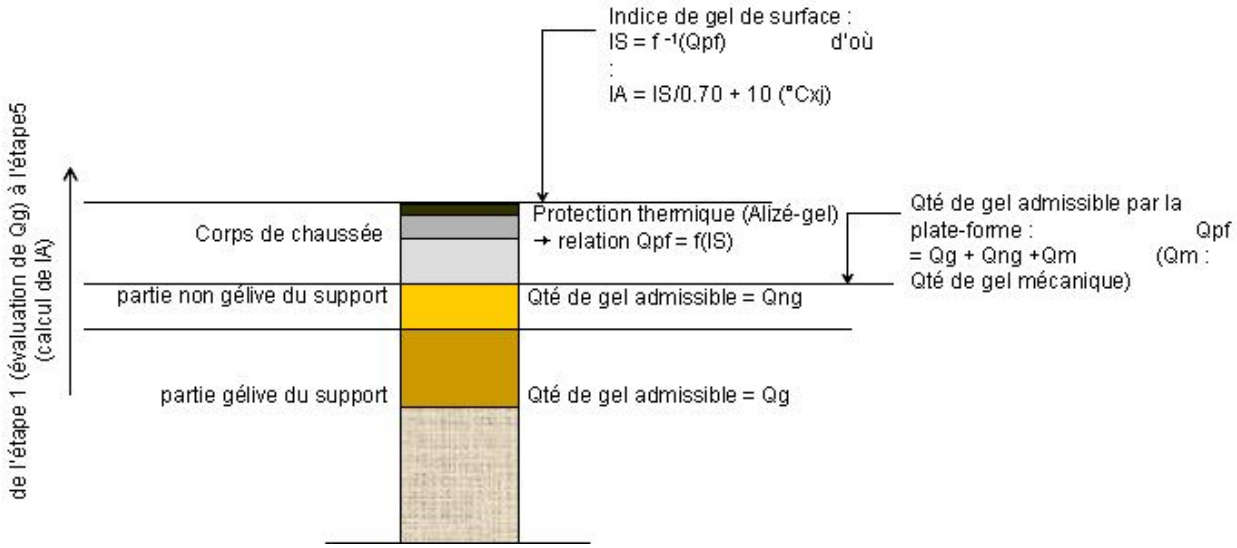

Indice de gel de surface :
IS = f -1(Qpf) d'où :
IA = IS/0.70 + 10 (°Cxj)
de l'étape 1 (évaluation de Qg) à l'étape5 (calcul de IA)
Corps de chaussée
Protection thermique (Alizé-gel)
→ relation Qpf = f(IS)
Qté de gel admissible par la plate-forme : Qpf = Qg + Qng +Qm (Qm : Qté de gel mécanique)
partie non gélive du support
Qté de gel admissible = Qng
partie gélive du support
Qté de gel admissible = Qg

Figure A2-5 : Vérification des chaussées au gel-dégel, démarche générale en 5 étapes

Etape 1 : Examen de la sensibilité au gel de la plate-forme support de chaussée
On détermine :

- la quantité de gel Qg dont on autorise la transmission aux couches inférieures gélives du support. Qg est évaluée à partir de la pente obtenue à l'essai de gonflement des matériaux très gélifs et peu gélifs constituant la plate-forme, et à partir de l'épaisseur de matériaux peu gélifs.
- la quantité de gel Qng, exprimant la protection thermique apportée par les matériaux non gélifs de la couche de forme et du sol support. Qng est évaluée en fonction de la nature de ces matériaux non gélifs et de leur épaisseur.

Etape 2 : Analyse de nature mécanique
On admet une certaine pénétration (e) du gel dans le support gélif, correspondant à la quantité Qm,. La perte de portance du massif support associée à cette pénétration se traduit par une majoration de la sollicitation maximale S2 créée par le trafic dans la structure de chaussée, par rapport à la sollicitation maximale S1 à l'état normale hors gel et dégel. La majoration maximale admise est de 5%. Une hypothèse sur la valeur du module d'Young du sol en phase de dégel st nécessaire : elle est prise égale à 1/10ème de celle de ce même sol dans son état normal. Des calculs itératifs à l'aide du module Alizé-mécanique permettent alors de calculer l'épaisseur e maximale de pénétration du gel dans la partie gélive du support, puis la quantité Qm correspondante par la relation : Qm = e/10 (unités racine(°C.jours) et cm).

Etape 3 : Détermination de la quantité de gel admissible au niveau de la plate-forme
La quantité de gel admissible Qpf au niveau de la plate-forme support de chaussée s'exprime par la somme des termes précédents : Qpf = Qg + Qng +Qm

Etape 4 : Etude de la protection thermique apportée par la structure de chaussée
Deux approches sont proposées par le Guide technique de 1994, la plus précise procédant d'un calcul thermique de propagation du gel dans la chaussée, et l'autre procédant de relations simplifiées.
Le calcul de propagation du gel à travers la chaussée permet d'établir la relation Qpf = f(IS). Elle est étudiée à l'aide du module Alizé-gel qui met en œuvre le modèle de Fourier pour résoudre l'équation de la chaleur en régime mixte eau – glace. Toutes les hypothèses des calculs sont définies par le Guide technique. Elles comprennent : la description de la structure de chaussée (géométrie et caractéristiques thermiques des matériaux), et la définition des conditions de température initiales et des températures à la base et à la surface du modèle.
La méthode simplifiée est moins précise que le calcul précédent avec le module Alizé-gel. Elle s'appuie sur une linéarisation de la relation entre Qpf et QS = IS. Les deux coefficients de cette relation linéaire dépendent de la nature des matériaux constituant les différentes couches de chaussée, et de l'épaisseur de ces couches.

Etape 5 : Détermination de l'indice de gel atmosphérique admissible IA
La relation entre Qpf = f(IS) établie à l'étape précédente conduit à déterminer la valeur admissible IS = $f_{inverse}$(Qpf). L'indice de gel atmosphérique IA correspondant à IS est calculé par à l'aide d'une relation empirique reliant les indices IA et IS. Cette relation reflète les phénomènes de convection et de rayonnement en surface de la chaussée. En altitude moyenne, avec un ensoleillement faible à moyen et un indice de gel atmosphérique ne dépassant pas 210°C.jour, le Guide technique de 1994 préconise la relation suivante : IA = IS/0.7 + 10 (unités : °C.jour).

Pour tous les autres cas (gel très rigoureux, ensoleillement important), une étude particulière est nécessaire.